

Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

Ю.В.Петраков
(ініціали, прізвище)

“ _____ ” _____ 20__р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності **131. Прикладна механіка. Технології машинобудування**

(код і назва спеціальності)

на тему: Моніторинг та прогнозування зносу ріжучого інструмента у верстатах з ЧПУ

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МТ – 92мп

(шифр групи)

Ткачук Денис Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник к.т.н., Ткач Ігор Ігорович

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант ст.вик., Лапач Сергій Миколайович

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського»**

МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра технології машинобудування

Спеціальність **131. Прикладна механіка.**

Спеціалізація **Технології машинобудування**

(код і назва)

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Ю.В. Петраков

(підпис)

(ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту**

Ткачуку Денису Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема дисертації «Моніторинг та прогнозування зносу ріжучого інструмента у верстатах з ЧПУ»

науковий керівник Ткач Ігор Ігорович к.т.н., _____

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__р. № _____

1. Термін подання студентом закінченої дисертації «__» _____ 20__р.

2. Об'єкт дослідження Верстати з Чпу

3. Предмет дослідження Моніторинг та прогнозування зносу ріжучого інструмента

4. Перелік завдань, які потрібно розробити _____

**РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗРОБОК ПРОБЛЕМИ
СТАНУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА
БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ**

1.1 Актуальність проблеми діагностування стану ріжучого інструменту на верстатах з ЧПУ

1.2 Проблема надійності різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва

**РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ОЦІНКИ
СТАНУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА
БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ**

2.1 Аналіз зарубіжних досліджень в області діагностики стану ріжучого інструменту

- 2.2 Аналіз вітчизняних досліджень в області діагностики стану різального інструменту
- 2.3 Сучасні підходи до формування систем моніторингу та діагностики стану різального інструменту. Методи інтелектуального аналізу даних
- 2.4 Підхід до моніторингу стану інструменту з використанням адаптивної нейро-нечіткої системи виведення «ANFIS»
- 2.5 Сучасний стан методів моніторингу в зарубіжній літературі
- 2.6 Вибір методу моніторингу стану PI
- 2.7 Методи оцінки параметрів нечітких кордонів стійкості різучого інструменту
- 2.8 Оцінка параметрів нечіткого кордону на основі статистичної обробки даних
- 2.9 Оцінка параметрів нечіткого кордону на базі прискорених випробувань

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

- 3.1 Розробка системи моніторингу стану інструменту
- 3.2 Витяг векторів властивостей
- 3.3 Оцінка радіального зносу різучого інструменту
- 3.4 Інтерфейс системи моніторингу стану PI
- 3.5 База даних системи моніторингу стану PI

РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЧНЕ ОТРИМАННЯ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

- 4.1. Алгоритми параметричної ідентифікації моделей
- 4.2. Структурна ідентифікація
- 4.3. Оптимізація структури моделі
- 4.4. Перевірка адекватності моделі
- 4.5. Витяг моделей з експериментальних даних

7.КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗРОБОК ПРОБЛЕМИ СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ	05.05.2020	
	15.05.2020	
2. МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ОЦІНКИ СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ		
3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ОСНОВІ	25.05.2020	
4. МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	05.06.2020	
АВТОМАТИЧНЕ ОТРИМАННЯ МОДЕЛЕЙ НА		

ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ 5.Висновки	12.06.2020	
--	------------	--

ент

Ткачук Д.С.

Студ

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

Ткач І. І.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертаційна робота складається із змісту, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та додатків. Робота містить 103 сторінок, 31 рисунок, 40 таблицю, 159 використаних літературних джерел.

Актуальність роботи. Одна з головних причин зниження точності обробки на металорізальних верстатах - зміна розмірів ріжучого інструменту внаслідок його зносу.

Забезпечення надійності та ефективності процесу механічної обробки є неможливим без інформації про поточний стан ріжучого інструменту і, перш за все, кількісної оцінки інтенсивності зношування ріжучого інструменту. Недоступність зони різання для прямого спостереження змушує будувати моделі і судити про контактних процесах за непрямими параметрам.

Працями таких вітчизняних і зарубіжних вчених як, Б. М. Бржовській, В. Л. Заковоротний, В. Ц. Зоріктуев, В. І. Подураєв, А. А. Барзов, О. В. Кретинин, Ю. Г. Кабалдін, Т. Н. Лоладзе, А. Д. Макаров, Е. М. Трент і ін., розроблені методи контролю стану різального інструменту на основі сигналів акустичної емісії, вібрації, компонентів сил різання, електричних параметрів і ін. Незважаючи на значні успіхи в області моніторингу працездатності інструменту, проблема підвищення точності, швидкодії, надійності, простоти технічної реалізації і інваріантності до умов механічної обробки залишається. Одним з найбільш перспективних напрямків при створенні адаптивних методів моніторингу стану

інструменту в мінливих умовах механічної обробки є синтез різних непрямих методів контролю.

Наступним кроком у розвитку систем оперативної діагностики стану РІ є прогноз, точність і достовірність якого ґрунтується на точності обраного методу моніторингу. До теперішнього часу не існує промислових систем прогнозування розмірного зносу інструменту важкооброблюваних матеріалів. Поведінка об'єкта діагностики залежить від великого числа неоднакових за значимістю факторів, тому отримані моделі добре працюють тільки на тій групі матеріалів і в тих умовах, в яких проводилися дослідження. При використанні інших груп матеріалів доводиться повністю повторювати експеримент, що є абсолютно неприйнятним для широкого практичного використання в конкретних завданнях діагностики, прогнозування і прийняття рішень.

Використовуючи останні досягнення в розвитку методів моніторингу, засобів вимірювання і підвищення швидкодії обчислювальних засобів, в роботі запропоновано принципово новий підхід до прогнозу параметрів процесу різання, заснований на принципі самоорганізації моделей. Згідно з цим принципом, для оперативних вимірювань здійснюється цілеспрямований перебір багатьох моделей-претендентів різної складності по ряду критеріїв, в результаті якого знаходиться модель оптимальної структури у вигляді одного рівняння або системи рівнянь, які використовуються при побудові прогнозів, з урахуванням корекції за експериментальними даними. Притягається апарат нелінійної динаміки дозволяє зробити синтез і вибірку найбільш адекватних моделей, оцінити горизонт прогнозу, точність оцінок і поповнити банк моделей в процесі роботи.

Актуальність завдання підвищується при обробці важкооброблюваних матеріалів, які широко використовуються в авіаційній промисловості, оскільки для важкооброблюваних матеріалів трудомісткість обробки заготовки порівнянна з ресурсом інструменту. Зупинка процесу через знос інструменту часто означає брак дорогої деталі. Контроль стану і заміна інструменту в реальних виробничих умовах здійснюється на основі розрахункової стійкості. Але в залежності від якості інструменту варіація стійкості інструменту в одній партії коливається від 15

до 35%. Якщо час роботи інструменту визначається найгіршим зразком в партії, то найбільш стійкі зразки при фіксованому напрацюванні використовують свій ресурс лише на 65%.

Без інформації про інтенсивність зношування інструменту неможлива оптимізація процесів різання (ПР), процедура вибору оптимальних технологічних умов обробки і т.д.

Незважаючи на тривалі дослідження, що проводяться у зазначеному напрямку в багатьох наукових і виробничих колективах нашої країни і за кордоном, проблема створення системи оперативної діагностики стану ріжучого інструменту (РІ) залишається невирішеною.

Розвиток засобів діагностики дозволить:

- підвищити точність механічної обробки за рахунок корекції траєкторії інструменту з урахуванням поточного значення зносу;
- вести оптимальне управління за критерієм зносу інструменту.

Пропоноване дослідження присвячене актуальним питанням підвищення достовірності оцінки розмірного зносу ріжучого інструменту системою моніторингу, розробки методики прогнозування параметрів, що характеризують стану ріжучого інструменту.

Мета роботи і завдання досліджень

Метою роботи є вдосконалення методів моніторингу зносу ріжучого інструменту і прогнозу діагностичних параметрів процесу різання.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі основні завдання:

1. Удосконалити методику ідентифікації зносу РІ по сигналу віброакустичної емісії (BAE).
2. Розробити методику самонастроювання діагностичних моделей зносу РІ по електричним параметрам контакту «інструмент-деталь», за експериментальними даними, отриманими в процесі функціонування системи.
3. Розробити алгоритм прогнозу зносу РІ, що використовує апіорні і емпіричні дані і враховує нелінійність функції зносу від часу.

4. Розробити базу даних і базу знань діагностичних параметрів процесу різання. Провести її наповнення апріорними даними.

5. Розробити інформаційно-вимірювальну систему для збору, аналізу та зберігання діагностичних параметрів процесу різання.

Методи дослідження

При дослідженні об'єкта діагностики використані методи системного аналізу, теорії різання, теорії автоматичного управління, ідентифікації та планування експерименту, математичної статистики. Проектування системи діагностики здійснювалося на основі методів теорії надійності, електротехніки, метрології. Аналіз експериментальних даних здійснювався

також із застосуванням теорії цифрової обробки сигналів, теорії оптимізації, варіаційного обчислення, теорії інформації, методів аналізу сцен і розпізнавання образів, теорії прийняття рішення, теорії нейронних мереж. Для вирішення завдань прогнозу використані методи нелінійної динаміки.

Об'єкт дослідження – Верстати з ЧПК

Предмет дослідження – Моніторинг зносу ріжучого інструменту

Ключові слова: Процес різання, критерій зношування, стійкість різця, шлях різання.

Реферат

Магистерская диссертационная работа состоит из содержания, введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений. Работа содержит 103 страниц, 31 рисунок, 40 таблицу, 159 использованных литературных источников.

Актуальность работы. Одна из главных причин снижения точности обработки на металлорежущих станках - изменение размеров режущего инструмента вследствие его износа.

Обеспечение надежности и эффективности процесса механической обработки невозможно без информации о текущем состоянии режущего инструмента и, прежде всего, количественной оценки интенсивности износа режущего инструмента. Недоступность зоны резания для прямого наблюдения заставляет строить модели и судить о контактных процессах по косвенным параметрам.

Трудами таких отечественных и зарубежных ученых как, Б. М. Бржовский, В. Л. Заковоротный, В. Ц. Зориктуев, В. И. Подураев, А. А. Барзов, А. В. Кретинин, Ю. Г. Кабалдин, Т. Н. Лоладзе, А. Д. Макаров, Е. М. Трент и др., разработаны методы контроля состояния режущего инструмента на основе сигналов акустической эмиссии, вибрации, компонентов сил резания, электрических параметров и др. Несмотря на значительные успехи в области мониторинга работоспособности инструмента, проблема повышения точности, быстродействию, надежности, простоты технической реализации и инвариантности к условиям механической обработки остается. Одним из наиболее перспективных направлений при создании адаптивных методов мониторинга состояния инструмента в меняющихся условиях механической обработки является синтез различных косвенных методов контроля.

Следующим шагом в развитии систем оперативной диагностики состояния РИ является прогноз, точность и достоверность которого основывается на точности выбранного метода мониторинга. До настоящего времени не существует промышленных систем прогнозирования размерного износа инструмента

труднообрабатываемых материалов. Поведение объекта диагностики зависит от большого числа неодинаковых по значимости факторов, поэтому полученные модели хорошо работают только на той группе материалов и в тех условиях, в которых проводились исследования. При использовании других групп материалов приходится полностью повторять эксперимент, является абсолютно неприемлемым для широкого практического использования в конкретных задачах диагностики, прогнозирования и принятия решений.

Используя последние достижения в развитии методов мониторинга, средств измерения и повышения быстродействия вычислительных средств, в работе предложен принципиально новый подход к прогнозу параметров процесса резания, основанный на принципе самоорганизации моделей. Согласно этому принципу, для оперативных измерений осуществляется целенаправленный перебор многих моделей-претендентов различной сложности по ряду критериев, в результате которого находится модель оптимальной структуры в виде одного уравнения или системы уравнений, которые используются при построении прогнозов, с учетом коррекции по экспериментальным данным. Привлекается аппарат нелинейной динамики позволяет сделать синтез и выборку наиболее адекватных моделей, оценить горизонт прогноза, точность оценок и пополнить банк моделей в процессе работы.

Актуальность задачи повышается при обработке труднообрабатываемых материалов, которые широко используются в авиационной промышленности, поскольку для труднообрабатываемых материалов трудоемкость обработки заготовки сравнима с ресурсом инструмента. Остановка процесса за износа инструмента часто означает недостаток дорогой детали. Контроль состояния и замена инструмента в реальных производственных условиях осуществляется на основе расчетной устойчивости. Но в зависимости от качества инструмента вариация стойкости инструмента в одной партии колеблется от 15 до 35%. Если время работы инструмента определяется худшим образцом в партии, то наиболее устойчивые образцы при фиксированном выработке используют свой ресурс только на 65%.

Без информации об интенсивности износа инструмента невозможна оптимизация процессов резки (ПР), процедура выбора оптимальных технологических условий обработки и т.д.

Несмотря на длительные исследования, проводимые в данном направлении во многих научных и производственных коллективах нашей страны и за рубежом, проблема создания системы оперативной диагностики состояния режущего инструмента (РИ) остается нерешенной.

Развитие средств диагностики позволит:

- повысить точность механической обработки за счет коррекции траектории инструмента с учетом текущего значения износа;
- вести оптимальное управление по критерию износа инструмента.

Предлагаемое исследование посвящено актуальным вопросам повышения достоверности оценки размерного износа режущего инструмента системой мониторинга, разработки методики прогнозирования параметров, характеризующих состояния режущего инструмента.

Цель работы и задачи исследований

Целью работы является совершенствование методов мониторинга износа режущего инструмента и прогноза диагностических параметров процесса резания.

Для достижения указанной цели поставлены следующие основные задачи:

1. Усовершенствовать методику идентификации износа РИ по сигналу виброакустической эмиссии (ВАЕ).
2. Разработать методику самонастройки диагностических моделей износа РИ по электрическим параметрам контакта «инструмент-деталь», по экспериментальным данным, полученным в процессе функционирования системы.
3. Разработать алгоритм прогноза износа РИ, использующий априорные и эмпирические данные и учитывает нелинейность функции износа от времени.
4. Разработать базу данных и базу знаний диагностических параметров процесса резания. Провести ее наполнения априорными данными.
5. Разработать информационно-измерительную систему для сбора, анализа и хранения диагностических параметров процесса резания.

методы исследования

При исследовании объекта диагностики использованы методы системного анализа, теории резания, теории автоматического управления, идентификации и планирования эксперимента, математической статистики. Проектирование системы диагностики осуществлялось на основе методов теории надежности, электротехники, метрологии. Анализ экспериментальных данных осуществлялся

также с применением теории цифровой обработки сигналов, теории оптимизации,

вариационного исчисления, теории информации, методов анализа сцен и распознавания образов, теории принятия решения, теории нейронных сетей. Для решения задач прогноза использованы методы нелинейной динамики.

Объект исследования - станки с ЧПУ

Предмет исследования - мониторинг износа режущего инструмента

Ключевые слова: Процесс резки, критерий износа, стойкость резца, путь резки.

ЗМІСТ:

ВСТУП	14
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗРОБОК ПРОБЛЕМИ СТАНУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ	18
1.1 Актуальність проблеми діагностування стану ріжучого інструменту на верстатах з ЧПУ	18
1.2 Проблема надійності різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва	22
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ОЦІНКИ СТАНУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ	26
2.1 Аналіз зарубіжних досліджень в області діагностики стану ріжучого інструменту	26
2.2 Аналіз вітчизняних досліджень в області діагностики стану різального інструменту	29
2.3 Сучасні підходи до формування систем моніторингу та діагностики стану різального інструменту. Методи інтелектуального аналізу даних	33
2.4 Підхід до моніторингу стану інструменту з використанням адаптивної нейро-нечіткої системи виведення «ANFIS»	35
2.5 Сучасний стан методів моніторингу в зарубіжній літературі	38
2.6 Вибір методу моніторингу стану РІ	45
2.7 Методи оцінки параметрів нечітких кордонів стійкості ріжучого інструменту	47
2.8 Оцінка параметрів нечіткого кордону на основі статистичної обробки даних	48
2.9 Оцінка параметрів нечіткого кордону на базі прискорених випробувань	49
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ	51

СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

3.1 Розробка системи моніторингу стану інструменту	52
3.2 Витяг векторів властивостей	52
3.3 Оцінка радіального зносу різучого інструменту	52
3.4 Інтерфейс системи моніторингу стану РІ	56
3.5 База даних системи моніторингу стану РІ	59
РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЧНЕ ОТРИМАННЯ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ	61
4.1. Алгоритми параметричної ідентифікації моделей	62
4.2. Структурна ідентифікація	63
4.3. Оптимізація структури моделі	65
4.4. Перевірка адекватності моделі	67
4.5. Витяг моделей з експериментальних даних	69
5.РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	70
5.1 Опис ідеї проекту	71
5.2 Проведення аналізу ринкових можливостей проекту	72
5.3 Розробка ринкової стратегії проекту	77
5.4 Розробка маркетингової програми	79
ВИСНОВКИ	82
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	87

ВСТУП

Актуальність роботи. Одна з головних причин зниження точності обробки на металорізальних верстатах - зміна розмірів ріжучого інструменту внаслідок його зносу.

Забезпечення надійності та ефективності процесу механічної обробки є неможливим без інформації про поточний стан ріжучого інструменту і, перш за все, кількісної оцінки інтенсивності зношування ріжучого інструменту. Недоступність зони різання для прямого спостереження змушує будувати моделі і судити про контактних процесах за непрямими параметрами.

Працями таких вітчизняних і зарубіжних вчених як, Б. М. Бржовській, В. Л. Заковоротний, В. Ц. Зоріктуев, В. І. Подураев, А. А. Барзов, О. В. Кретинин, Ю. Г. Кабалдін, Т. Н. Лоладзе, А. Д. Макаров, Е. М. Трент і ін., розроблені методи контролю стану різального інструменту на основі сигналів акустичної емісії, вібрації, компонентів сил різання, електричних параметрів і ін. Незважаючи на значні успіхи в області моніторингу працездатності інструменту, проблема підвищення точності, швидкодії, надійності, простоти технічної реалізації і інваріантності до умов механічної обробки залишається. Одним з найбільш перспективних напрямків при створенні адаптивних методів моніторингу стану інструменту в мінливих умовах механічної обробки є синтез різних непрямих методів контролю.

Наступним кроком у розвитку систем оперативної діагностики стану РІ є прогноз, точність і достовірність якого ґрунтується на точності обраного методу моніторингу. До теперішнього часу не існує промислових систем прогнозування розмірного зносу інструменту важкооброблюваних матеріалів. Поведінка об'єкта діагностики залежить від великого числа неоднакових за значимістю факторів, тому отримані моделі добре працюють тільки на тій групі матеріалів і в тих умовах, в яких проводилися дослідження. При використанні інших груп матеріалів доводиться повністю повторювати експеримент, що є абсолютно неприйнятним для широкого практичного використання в конкретних завданнях діагностики, прогнозування і прийняття рішень.

Використовуючи останні досягнення в розвитку методів моніторингу, засобів вимірювання і підвищення швидкодії обчислювальних засобів, в роботі запропоновано принципово новий підхід до прогнозу параметрів процесу різання, заснований на принципі самоорганізації моделей. Згідно з цим принципом, для оперативних вимірювань здійснюється цілеспрямований перебір багатьох моделей-претендентів різної складності по ряду критеріїв, в результаті якого знаходиться модель оптимальної структури у вигляді одного рівняння або системи рівнянь, які використовуються при побудові прогнозів, з урахуванням корекції за експериментальними даними. Притягається апарат нелінійної динаміки дозволяє зробити синтез і вибірку найбільш адекватних моделей, оцінити горизонт прогнозу, точність оцінок і поповнити банк моделей в процесі роботи.

Актуальність завдання підвищується при обробці важкооброблюваних матеріалів, які широко використовуються в авіаційній промисловості, оскільки для важкооброблюваних матеріалів трудомісткість обробки заготовки порівнянна з ресурсом інструменту. Зупинка процесу через зносу інструменту часто означає брак дорогої деталі. Контроль стану і заміна інструменту в реальних виробничих умовах здійснюється на основі розрахункової стійкості. Але в залежності від якості інструменту варіація стійкості інструменту в одній партії коливається від 15 до 35%. Якщо час роботи інструменту визначається найгіршим зразком в партії, то найбільш стійкі зразки при фіксованому напрацюванні використовують свій ресурс лише на 65%.

Без інформації про інтенсивність зношування інструменту неможлива оптимізація процесів різання (ПР), процедура вибору оптимальних технологічних умов обробки і т.д.

Незважаючи на тривалі дослідження, що проводяться у зазначеному напрямку в багатьох наукових і виробничих колективах нашої країни і за кордоном, проблема створення системи оперативної діагностики стану ріжучого інструменту (РІ) залишається невирішеною.

Розвиток засобів діагностики дозволить:

- підвищити точність механічної обробки за рахунок корекції траєкторії інструменту з урахуванням поточного значення зносу;
- вести оптимальне управління за критерієм зносу інструменту.

Пропоноване дослідження присвячене актуальним питанням підвищення достовірності оцінки розмірного зносу ріжучого інструменту системою моніторингу, розробки методики прогнозування параметрів, що характеризують стану ріжучого інструменту.

Мета роботи і завдання досліджень

Метою роботи є вдосконалення методів моніторингу зносу ріжучого інструменту і прогнозу діагностичних параметрів процесу різання.

Для досягнення зазначеної мети поставлено такі основні завдання:

1. Удосконалити методику ідентифікації зносу РІ по сигналу віброакустичної емісії (BAE).
2. Розробити методику самонастроювання діагностичних моделей зносу РІ по електричним параметрам контакту «інструмент-деталь», за експериментальними даними, отриманими в процесі функціонування системи.
3. Розробити алгоритм прогнозу зносу РІ, що використовує апіорні і емпіричні дані і враховує нелінійність функції зносу від часу.
4. Розробити базу даних і базу знань діагностичних параметрів процесу різання. Провести її наповнення апіорними даними.
5. Розробити інформаційно-вимірювальну систему для збору, аналізу та зберігання діагностичних параметрів процесу різання.

Методи дослідження

При дослідженні об'єкта діагностики використані методи системного аналізу, теорії різання, теорії автоматичного управління, ідентифікації та планування експерименту, математичної статистики. Проектування системи діагностики здійснювалося на основі методів теорії надійності, електротехніки, метрології. Аналіз експериментальних даних здійснювався також із застосуванням теорії цифрової обробки сигналів, теорії оптимізації,

варіаційного обчислення, теорії інформації, методів аналізу сцен і розпізнавання образів, теорії прийняття рішення, теорії нейронних мереж. Для вирішення завдань прогнозу використані методи нелінійної динаміки.

.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД РОЗРОБОК ПРОБЛЕМИ СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ

1.1 Актуальність проблеми діагностування стану ріжучого інструменту на верстатах з ЧПУ

Проблема діагностування стану ріжучого інструменту (PI), разом з оцінкою його зносу, залишається актуальною протягом багатьох років. В роботі [21] зазначалося, що, виходячи зі статистики, операторам, які обслуговують верстати з ЧПУ, для підтримки поточної працездатності, поднастройкі технологічної системи і усунення причин можливих відмов доводиться втручатися в роботу верстата по керуючій програмі в період від 6 до 22 хвилин з моменту початку операції обробки. За результатами проведених японською службою Takeyama досліджень [22, 23], просте обладнання з ЧПУ через відмови в зв'язку з незапланованим зносом і поломкою ріжучого інструменту становить від 39 до 50 відсотків часу роботи.

Питання діагностики і оцінки стану інструменту стали більш актуальними, в зв'язку з комп'ютеризацією верстатних систем і оснащенням виробництва багатоопераційної обробними центрами з ЧПУ. Оскільки в умовах гнучкого автоматизованого виробництва процеси металообробки в більшості випадків прийняли автоматичний характер, оператори були видалені безпосередньо від працюючих верстатів. У зв'язку з цим, стала актуальною проблема інтелектуального управління станом обробних центрів і їх складових компонентів.

З 90-х років минулого століття економічно розвинені держави світу беруть участь в реалізації проекту SIMON (Sensor Fused Intelligent Monitoring System for Machining), який є однією із складових частин програми створення технології XXI століття [4]. Звіти про реалізацію даного проекту повідомляють про те, що введення знань експертів і інтелектуальних алгоритмів в управління верстатами та іншими технологічними мехатронними об'єктами буде грати ключову роль в

досягненні високої точності і продуктивності механічної обробки, при мінімальних несправностях.

Системи моніторингу, що підтримують надійне функціонування ріжучого інструменту на металорізальних верстатах, призначені для зведення можливих збитків від затуплення або поломки РІ до мінімальних показників. Система моніторингу повинна, на основі оцінки зносу інструменту, ініціювати процес своєчасної його заміни. У зв'язку з цим, верстатні системи з ЧПУ оснащуються різними контрольними пристроями [24]. Адекватне функціонування системи моніторингу також неможливо без використання відповідної стратегії реагування і дії для контролю процесу різання і попередження виникаючих несправностей.

Отже, можна зробити висновок про те, що в сучасному світі необхідно використовувати автоматизовані системи моніторингу та управління станом РІ, за мінімальної участі людини. Основне нововведення полягає в створенні власної системи знань верстата (Intelligent Monitoring System for Tools), тоді як раніше можливістю знань про стан інструментального забезпечення не міг володіти ніхто, крім оператора, обслуговуючого верстат.

Однією з головних цілей обробних центрів із числовим програмним управлінням (ЧПУ) є пошук оптимального співвідношення між станом ріжучого інструменту, якістю готової поверхні і продуктивністю обладнання. Системи діагностики стану різального інструменту, що оптимізують експлуатаційні витрати і забезпечують високу якість продукту, широко оцінені на ринку сучасних виробничих систем [25, 26]. Наприклад, в роботі [27], було доведено, що ефективний час механічної обробки на фрезерних верстатах може бути збільшено з 10 до 65% за допомогою застосування системи діагностики і управління станом інструменту. Крім того доведено [28], що будь-який виробничий процес може бути істотно оптимізований з допомогою надійної і гнучкої системи контролю ріжучого інструменту.

Виходячи з усього, описаного вище, можна зробити висновок про те, що система моніторингу стану і обліку зносу ріжучого інструменту повинна виконувати наступні завдання:

- максимально швидко виявляти наявні в процесі обробки поломки;
- ідентифікувати поломки ріжучого інструменту;
- класифікувати і оцінювати знос ріжучого інструменту, викликаний механічними пошкодженнями або впливами зовнішнього середовища.

У техпроцесах обробки металів різанням процентна частка, що припадає на операції фрезерування, становить до 15% від загального числа операцій металообробки. До вибору необхідного інструменту, а також режимів різання при фрезеруванні необхідно підійти з розробки математичної моделі. Модель повинна пов'язувати стійкість інструменту з використовуваними режимами. В даний час при розробці нових технологічних процесів металообробки вибір діапазону швидкостей різання здійснюється за допомогою залежностей типу [29]:

$$V = \frac{C_V D^q K_V}{T^m t^x s_z^y B^u z^p}$$

де V - швидкість різання, D - діаметр фрези, T - період стійкості різального інструменту, s_z - подача на зуб, B - ширина фрезерування, z - число зубів фрези, C_V , K_V , q , m , x , y , u , p - коефіцієнти, що використовуються для конкретних умов обробки металів.

Перевага залежностей подібного типу полягає, безумовно, в простоті розрахунків, однак такі вирази не можуть відображати в повному обсязі всієї суті фізичних процесів, що протікають в ріжучій частині інструменту, в умовах його експлуатації, що ускладнює вирішення питання діагностики стану інструменту.

Для забезпечення заданої точності виготовлення деталей, продовження терміну служби ріжучого інструменту і підвищення продуктивності металорізальних верстатів потрібне застосування спеціальної системи компенсації зносу ріжучої частини інструменту. Ще більшого значення це має при обробці важкооброблюваних матеріалів, які широко використовуються в автомобільній промисловості, оскільки для цих матеріалів трудомісткість обробки заготовки порівнянні з ресурсом інструменту.

Зупинка процесу через знос інструменту часто означає нестачу дорогої деталі. Контроль стану і заміна інструменту в реальних виробничих умовах здійснюється на основі розрахункової стійкості або за фактом виходу інструменту

з ладу. Залежно від якості інструменту варіація стійкості інструменту в партії коливається. Розвиток засобів вимірювання і компенсації дозволить враховувати поточне значення зносу ріжучого інструменту, що дасть можливість підвищити розмірну точність і забезпечить надійність і ефективність процесу механічної обробки [1].

Вимірювання зносу ріжучого інструменту, можливо, після кожного циклу обробки [2], проте в цьому випадку немає можливості ідентифікувати критичні стани інструменту. Без інформації про інтенсивність зношування інструменту неможлива оптимізація процесів різання.

Для визначення зносу і терміну служби інструменту Oraby і Hayhurst [3] розробили моделі на базі методу розрахунку нелінійної регресії з урахуванням зміни ставлення складової сили, що впливає на ріжучу кромку інструменту. Srinivas і Kotaiah [4] використовують модель нейронної мережі для визначення зносу інструменту і сили різання при токарній обробці для характеристики різання швидкості, подачі і глибини різання.

Chen і Li [5] створили модель контролю зносу ріжучого інструменту для моніторингу інструменту по задній поверхні. Залежності складових сили різання від величини зносу ріжучого інструменту відтворюватися за допомогою тензодатчика і успішно використовується в металорізальних верстатах фірми SANtec Automation.

Для синтезу структури та алгоритму управління компенсацією зносу ріжучої частини інструменту потрібно провести комплексний аналіз електромеханічної системи компенсації з урахуванням пружних зв'язків, зазорів і параметрів її ланок, що впливають на процес передачі заданого кута

корекції зносу інструменту.

1.2 Проблема надійності різального інструменту в умовах автоматизованого виробництва

Надійність [30] - властивість об'єкта зберігати в часі у встановлених межах значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати необхідні функції в заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання і транспортування. Надійність є поєднанням властивостей: безвідмовності, довговічності, ремонтпридатності і зберігання. Функціональний контроль застосовують в процесі експлуатації обладнання, а текстовий контроль, як правило, після виготовлення, а також при ремонті.

Важливою частиною процесу діагностики є корекція. Відносно до гнучкої виробничої системи (ГПС) корекція означає або виключення з технологічного процесу несправного елемента (зламаною інструменту, що вийшов з ладу верстата, робота і т.д.), або в разі його параметричної відмови, коли елемент ДПС працездатний, але його характеристики змінилися, перебудова технологічного процесу.

При створенні високоавтоматизованих гнучких продуктивних систем необхідно використовувати спеціальні діагностичні пристрої, що здійснюють надійний автоматичний контроль стану основних вузлів і процесів в верстаті при металообробці. При цьому особлива увага приділяється ріжучого інструменту і його працездатності, так як несвоєчасне виявлення відмов інструменту може мати найрізноманітніші наслідки - від появи браку до аварії верстата і т.д.

У зв'язку з цим необхідно передбачати контроль поточного стану ріжучого інструменту з заміною інструменту резервним, а при необхідності і з заміною забракованої заготовки, що передбачається нормативно - технічною документацією.

Автоматичний контроль стану ріжучого інструменту дозволяє:

- підвищити надійність процесу металообробки (визначати правильність його протікання, автоматично відновлювати працездатність верстата при відмовах інструменту;

- ☐ зменшити витрату інструменту;
- ☐ поліпшити якість обробки і скоротити брак;
- ☐ оберегти механізми і вузли верстата від поломки і передчасної втрати точності;
- ☐ реалізувати автоматичне керування.

Все це призводить до необхідності використання автоматичних систем діагностики стану інструменту при роботі верстатів автоматичних виробництв. Це питання може вирішуватися на різних рівнях:

- ☐ створення систем, які контролюють придатність інструменту перед початком виконання процесу обробки;
- ☐ безперервний контроль можливих відмов інструменту в процесі обробки;
- ☐ періодична або безперервна оцінка зносу з метою корекції положення інструменту і прогнозування залишеного ресурсу працездатності.

Використання діагностичної системи того чи іншого рівня залежить від вимог, що пред'являються до надійності роботи верстата, точності обробки, економічних показників і т. д.

У той же час вибір методів і засобів контролю та діагностування ріжучого інструменту тісно пов'язаний з вивченням найбільш поширених відмов, причин виникнення і можливих наслідків. При цьому важливо виявлення таких відмов, які призводять до великих простоїв обладнання і високих витрат. Поєднання різних методів контролю дозволить підвищити точність і забезпечити універсальність оцінки поточного зносу інструменту.

Як показує практика [31], поломки викликають велике число відмов на початку і в середині роботи інструменту. У початковий період роботи інструменту йде підвищений розмірний знос, потім, стабільний період нормального зносу, практично пропорційний шляху різання.

У більшості металорізальних інструментів порушення працездатності при виконанні різних технологічних операцій складають:

10% - сколювання, 12% - відділення ріжучої частини, 21% - поломки, 22% - викришування і близько 35% - знос. При цьому витрати часу на виявлення і

видалення поламаних металорізальних інструментів становлять близько 10% від часу роботи металорізальних систем. Таким чином, діагностування зносу ріжучого інструменту має велике значення для підвищення надійності автоматизованого обладнання.

Прямі методи вимірювання передбачають безпосереднє вимірювання параметрів зносу, при цьому контролюється знос (по лунці, що утворюється на передній поверхні), відстань від ріжучої кромки до центру лунки, глибина лунки, ширина стрічки зносу по задній поверхні, зменшення обсягу або маси інструменту, розмірний знос ріжучої кромки, розкид розмірів деталей в партії і т.д. Зазначені параметри можуть бути визначені радіоактивними, оптико-телевізійними, лазерними, електромеханічними, ультразвуковими або пневматичними методами.

У зв'язку зі складнощами використання в виробничих умовах прямих методів визначення стану ріжучого інструменту, в нашій країні і за кордоном проводилися і проводяться численні роботи, спрямовані на використання можливості оцінки стану інструменту по вимірюванню різних параметрів процесів, які супроводжують різання.

При використанні непрямих методів датчиками приймаються сигнали, що надходять від певних ділянок інструменту, машини, заготовки та містять інформацію про розміри і швидкості зносу інструменту. Основний недолік непрямих методів полягає в тому, що кореляційний зв'язок між вимірним фактором і зносом інструменту повинен бути визначений експериментальним шляхом для кожного конкретного випадку обробки з тим, щоб на її основі можна було контролювати, за допомогою відповідного датчика, знос інструменту в процесі обробки.

Огляд існуючих систем [32, 33] показав, що є два принципово різних підходи до задачі прогнозування:

1. Ітераційний (прямий) прогноз:

$$x_n = f(x_{n-1}, x_{n-2}, \dots, x_{n-k}, C)$$

де x - спостережуваний параметр, C - константа

2. Модельне відображення:

$$f(t, c) = c_1, \varphi_1(t) + \dots + c_p, \varphi_p(t)$$

де f - базисна функція.

Перший випадок, який би розглядав різання як стаціонарний процес, не враховує нелінійний характер функціональної залежності зносу інструменту від часу в процесі різання і характерний для обробки важкооброблюваних матеріалів.

У другому методі, заснованому на використанні раніше отриманої функції, не враховується змінність факторів зовнішнього середовища і змінність внутрішніх параметрів системи.

Отже, на підставі викладених вище відомих методів постараємося сформулювати вимоги до методу діагностики та контролю стану ріжучого інструменту:

- метод повинен враховувати апріорну інформацію про модель поведінки об'єкта діагностики через структуру моделі, що зберігається в базі даних;
- кількісна оцінка стану повинна здійснюватися з урахуванням оперативної інформації, отриманої від датчиків.

РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТА ОЦІНКИ СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА БАГАТООПЕРАЦІЙНИХ ВЕРСТАТАХ

У той час як поломка різучого інструменту найчастіше є раптовою і непередбаченою подією, яка вимагає негайної реакції в процесі обробки, безпосередньо знос інструменту - процедура, що протікає досить повільно.

Важливість контролю зносу інструменту полягає в заміні зношених інструментів під час процесу механічної обробки. З визначенням точного терміну служби і експлуатації, витрати на різальний інструмент можуть бути істотно знижені.

Проте, діагностика різучого інструменту не є простим завданням з кількох причин. По-перше, процеси обробки мають нелінійний характер, а параметри системи можуть безперервно змінюватися у часі, що істотно ускладнює їх моделювання. По-друге, отримані від сенсорів сигнали, залежать від безлічі факторів - умов обробки, геометрії різучих інструментів, матеріалу заготовки і т.д. Застосування прямих методів контролю стану інструменту неможливо, отже, необхідні непрямі вимірювання для оцінки зносу. Крім того, сигнали, що надходять від датчиків верстата, можуть спотворюватися відповідно з багатьма іншими причинами, такими як нагрівання інструменту, вібрації, геометричні відхилення інструменту, індивідуальні властивості матеріалу заготовки, зашумленість сигналу аналоговоцифрового перетворення і т.д.

2.1 Аналіз зарубіжних досліджень в області діагностики стану різучого інструменту

В роботі [34] вперше був представлений авторський підхід до діагностики стану інструменту за допомогою використання систем, що самоорганізуються карт Кохонена. Генерувався ряд вібраційних характеристик, які проявляються інструментом під час свердління. Обробка сигналів на увазі використання

спектральних характеристик для отримання характеристики інструменту. Ця функція є вхідною для класифікації прихованих Марковських моделей. Автори показали, що самоорганізовані карти Кохонена привласнюють алгоритм виділення характеристик вібраційних сигналів в рамках процесу самонавчання.

Для виявлення відмов різального інструменту в реальному часі вперше була представлена методика, заснована на дослідженні частотної області одержуваних значень [35]. На низьких частотах в частотній області виділяється два важливих піки, які згодом порівнюються, щоб обчислити коефіцієнт, який може бути індикатором для контролю поломки інструменту.

В [36] автори використовували приховані Марковські мережі для оцінки зносу інструменту у фрезеруванні. З вібраційних характеристик інструменту були виділені середньоквадратичне відхилення сили різання і його похідна. Було ідентифіковано два стани ріжучого інструменту - зношене і незношене. Автори повідомили, що успіх операції діагностики склав 93%.

У статті [37], була представлена нова гібридна технологія діагностики зношування ріжучого інструменту, що оберігає безпосередньо фізичний процес різання, за допомогою застосування штучної нейронної мережі. Фізична модель описує вплив режимів різання на вимір сигналів сили різання, і намагається нормалізувати їх. Модель ІНС встановлює зв'язок між нормованими сигналами сили і станом зносу ріжучого інструменту. Продуктивність кращої моделі склала 99,4% за один крок навчання, і 70,0% за крок тестування.

В роботі [38] розроблено інтелектуальна система контролю для визначення попереднього зносу ріжучого інструменту з використанням модельного підходу. Динамічні характеристики сили різання безпосередньо пов'язані з ріжучим інструментом і умовами процесу обробки. По-перше, моделі ІНС навчаються з урахуванням сили різання, швидкості подачі, а також радіальної глибини різання. По-друге, залишкова помилка, отримана з попереднього вимірювання сили різання, порівнюється з адаптивним граничним значенням для оцінки стану ріжучого інструменту. Цей стан класифікується як новий, трохи зношений, значно зношений, або ж непридатний ріжучий інструмент.

Також автори пропонували альтернативний метод, в якому дослідження контролю зносу інструменту в процесі високошвидкісної механообробки ґрунтувалося на аналізі різних сигнатур сигналів тимчасової і частотної областей. Авторами використовувалася інформація, яку вилучили з динамометрів, акселерометрів і датчиків віброакустичної емісії, для отримання відхилення необхідних змінних. Тести були розроблені для різних швидкостей різання і подач, щоб визначити результативність нових і зношених ріжучих інструментів. Дані були перетворені з тимчасової в частотну область з використанням швидкого перетворення Фур'є. Був зроблений висновок про те, що друга гармоніка частоти збудження зуба інструмента в віброакустичному сигналі є найкращим індикатором для визначення стану зносу ріжучого інструменту.

Робота [39], пропонує підхід, заснований на застосуванні мережі Байєса. Підхід об'єднує кілька вимірювальних процесів в послідовних операціях обробки, щоб визначити причини зміни деяких факторів процесу різання. Це забезпечує імовірнісний рівень достовірності прогнозу. Мережа почалася з набором з 16 експериментів, а оцінювалася з 18 новими експериментами. В результаті мережа була діагностована з 60% коректних станів в 16 з 18 випадків.

Пропозиція використовувати блок розпізнавання мовних структур в системах діагностики стану зносу ріжучого інструменту прозвучало в статті [40]. Крім того, представлений новий підхід до онлайн-моніторингу стану зносу ріжучого зносу в торцевому фрезеруванні. Пропозиція, запрошення, речення засноване на безперервному сортуванні прихованих Марковських моделей. Характеристичні вектори були розраховані з сигналів вібрації між ріжучим інструментом і оброблюваною деталлю. Вектори формувалися на основі коефіцієнтів косинусного перетворення Фур'є спектру рівнів звукового тиску. Успіх діагностики стану різального інструменту склав 99,86% і 84,55%, на крок навчання і тестування, відповідно.

Також пропонується непрямий підхід моніторингу на основі вимірювання вібрації в процесі фрезерування. Автори порівнювали продуктивність трьох різних алгоритмів: прихованих Марковських моделей, штучних нейронних мереж і

квантування векторів при навчанні (Learning Vector Quantization). Алгоритм СММ показав найбільшу точність діагностики - 84,24% точністю, а LVQ алгоритм - точність в 60,31%.

В даний час значна частина експериментальних досліджень пов'язана з шорсткістю оброблюваної поверхні і зносом інструменту по задній поверхні.

Як правило, в процесі обробки враховуються тільки певні комбінації ріжучого інструменту і матеріалу заготовки. Тому, щоб найбільш повно охопити досліджувану область металообробного процесу, необхідна наявність бази даних, що включає інформацію про різних матеріалах і ріжучих інструментах. За допомогою такої бази можна буде заздалегідь отримати потрібні математичні моделі процесу обробки.

2.2 Аналіз вітчизняних досліджень в області діагностики стану різального інструменту

Серед вітчизняних розробок можна знайти також чимало корисної інформації щодо дослідження і пошуку закономірностей зношування інструменту в процесі різання. Як то, в роботі [21] авторами проводиться дослідження і пошук закономірностей в спектральних характеристиках термоЕРС процесу обробки металів різанням.

Розглянуто взаємозв'язки і закономірності між спектральними характеристиками термоЕРС процесу різання і зносом ріжучої частини інструменту. Встановлено залежність - співвідношення резонансних частот спектральних характеристик корелює зі зношеністю ріжучої частини інструменту.

Згідно авторів, встановлення закономірностей спектральних характеристик вібрацій і термоЕРС контакту інструменту з деталлю в їх взаємозв'язку з величиною інтенсивності зносу РІ може дозволити розробити методи діагностики стану різального інструменту, експрес вибору режимів різання, що забезпечують мінімальну або задану інтенсивність зносу ріжучого інструменту.

Інтерес до роботи полягає у визначенні на діаграмах АЧХ термоЕРС (рисунок 1.1) двох характерних піків. Перший завжди проявляє себе на фіксованій частоті, близькій до 12500 Гц. Другий характерний пік може знаходитися ліворуч або праворуч від першого піку. Зі збільшенням зносу пластини, другий характерний пік починає зближуватися з першим, і при настанні катастрофічного зносу збігається з ним [41]. також автори вказують на те, що АЧХ термоЕРС при точінні сплаву ВТЗ-1 підпорядковується тим самим закономірностям, що і при точінні сплаву ХН73МБТЮ.

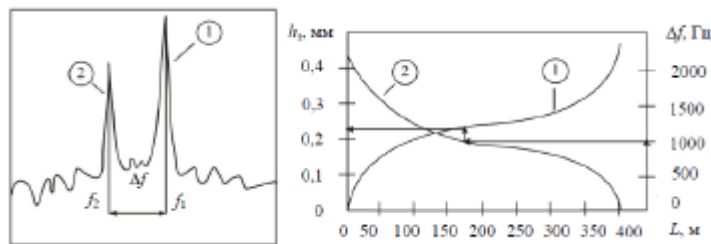


Рисунок 1.1 - Загальний вигляд схеми визначення зносу різця

Для визначення кореляційного зв'язку зносу ріжучого інструменту зі ступенем зближення резонансних частот сигналу АЕ автори вводять величину Δf , яка являє собою різницю частот першого і другого характерного піків термоЕРС (рисунок 1.1). Для визначення зносу за величиною Δf , необхідно побудувати графіки залежності зносу від пройденого шляху - (1) і залежність зносу від величини Δf - (2).

Серед недоліків методу можна виділити відсутність конкретної математичної моделі, що визначає взаємозв'язок амплітуди сигналу з нашивання інструменту, а також інтелектуальної надбудови, яка могла б дозволити використання даного методу в процесі прогнозування зносу ріжучого інструменту при металообробці. Виникає необхідність перевірки закономірності прояви зазначених авторами максимумів амплітуди в процесах різання, що стосуються не тільки токарного оброблення.

Відмінний від минулого підхід описаний в роботі [42]. Авторами розглядається залежність зносу ріжучого інструменту від коефіцієнта піддатливості, пропонуються способи використання CAD-технологій. Використовується програмне забезпечення ANSYS - комплекс пов'язаних програм

для кінцево-елементного аналізу інженерних систем. Геометрична модель фрези була побудована в середовищі SolidWorks, після чого імпортована в форматі Parasolid в систему ANSYS. проводиться моделювання процесу врізання інструменту в заготовку, яке іноді супроводжується великими величинами пружних віджатий. Щоб компенсувати ці дії, був введений новий параметр - коефіцієнт піддатливості [42]. Коефіцієнт виводиться за допомогою відомої формули [29] в залежності від сил пружних віджатий і складової сили різання:

$$0,8 * 10 * C_p * t^x * S^y * B^u * Z * D^{-q} * K_m^{-1} = \frac{f_{\text{фр}}}{w_{\text{вд,ст}}} * K_w$$

Іноді це супроводжується великими величинами пружних віджатей.

Для компенсації таких впливів був введений новий параметр: коефіцієнт податливості. Коефіцієнт обчислюється в залежності від сил пружних віджатий і складової сили різання.

Як видно, ліва частина представляє режими різання. У правій частині: $f_{\text{фр}}$ - обчислюється величина пружних віджатий; K_w - коефіцієнт піддатливості. K_w вибирається з результатів кінцево-елементного аналізу для конкретного типу фрези заданого діаметра, поздовжніх розмірів і величини піддатливості ідеального стержня, розрахованої з урахуванням того навантаження, яка діє на реальну фрезу того ж діаметру.

Робота являє, в першу чергу, інтерес для технолога-програміста. При виборі режимів різання і розрахунку величини податливості ідеального стержня по відомим залежностям опору матеріалів, технолог-програміст обчислює величину пружних віджатей. Якщо величина пружних віджатей не перевищує допустимої, то обрані режими є прийнятними, якщо умова не виконується, то можна зменшити подачу, або зменшити ширину фрезерування [42].

На недоліки роботи перш за все вказує уточнення авторів про тому, що дана методика може бути застосована, якщо розглядати силове фрезерування, тобто такий вид обробки, де ширина фрезерування перевищує величину діаметра. Метод не поширюється на швидкісне фрезерування, оскільки в тому методі ширина фрезерування має малу величину за рахунок зняття матеріалу дрібними шарами, і податливість не впливає на похибку обробки.

У сучасних процесах обробки металів чимала частина виробничих робіт зав'язана на застосуванні CAD і CAM систем [43], що застосовуються для проектування і технологічної підготовки виробництва. В статті [44] доведено, що використовувані для автоматизації програмування верстатів з ЧПУ CAM системи не здатні вирішувати завдання управління процесом різання для його стабілізації та подальшої оптимізації. Авторами представлена методика управління процесом різання на верстатах з ЧПУ через CAM системи. Методика полягає в автоматичній трансформації керуючої програми, створеної в CAM системі, з урахуванням результатів моделювання процесу обробки на основі апріорної інформації - при всіх заздалегідь відомих вихідних даних для проектування керуючої програми: форма заготовки, деталі, інструмент, система координат формоутворення і т.д.

Пропонується нова структурно-логічна схема проектування керуючої програми, яка вирішує поставлену задачу. Проектування виконується з використанням інтегрованої CAD / CAM системи. Отриманим результатом є сформований файл управління, що містить інформацію про подачу, швидкості різання, координатах руху і т.д.

Серед недоліків роботи можна відзначити завдання постійної величини подачі технологом-програмістом, ґрунтуючись на власному досвіді, або ж рекомендаціями фірми-виробника ріжучого інструменту.

Отже, завдання стабілізації залишається не вирішеною.

2.3 Сучасні підходи до формування систем моніторингу та діагностики стану різального інструменту. Методи інтелектуального аналізу даних

Питання підвищення якості металообробки за допомогою застосування сучасних методів інтелектуального аналізу даних розглядаються в роботах С.М. Григор'єва, В.Д. Гуріна, В.А. Сінопальнікова і ін., А також зарубіжних вчених: В. Sick, A.J. Vallejo, E. Bagci, S. Huang і ін. Авторами приділялося чимало уваги до

розробки власної системи моніторинг стану ріжучого інструменту, що враховує безліч різноманітних факторів, так чи інакше беруть участь в процесі різання.

Можливості системи моніторингу стану інструменту ґрунтуються на використанні двох основних елементів: по-перше, кількості і типах датчиків, які використовуються в процесі металообробки, по-друге, пов'язаних між собою і спрощених методів обробки сигналів, що використовуються для отримання необхідної інформації з сигналів сил, що виникають безпосередньо в процесі металообробки. Перший елемент передбачає використання дорогого устаткування, яке впливає на собівартість системи, в той час як другий елемент впливає на ефективність і швидкість роботи системи. Головне питання тут полягає в розробці системи моніторингу стану інструменту з високою ефективністю, малим часом налагодження, і зі зменшеною кількістю датчиків.

В основному це включає в себе вибір датчиків і пов'язаних з ними методів обробки сигналів, які забезпечують мінімальну похибку класифікації щодо похибок процесу обробки.

Найчастіше в системах моніторингу використовуються датчики вимірювання сил різання або величин, пов'язаних з цими силами (потужність, крутний момент, зміщення і деформація). Такі датчики відносно прості в установці на існуючих або нових машинах, і не впливають на цілісність машини та жорсткість.

Системи моніторингу, розроблені в лабораторних умовах, часто відносяться до класу мультисенсорних систем, що відображають складні стратегії інтеграції інформації, заснованої на фундаментальних положеннях функцій вилучення інформації зі штучного інтелекту, і виготовленні більш надійних рішень по вимірюванню зносу інструменту. На даний момент у продажу домінують системи односенсорної інструментальної діагностики [45]. Мультисенсорний підхід ще не освоєний до кінця і в даному випадку означає надання кращого і найбільш підходящого датчика для кожного конкретного застосування (наприклад, виключно для повороту інструмента). Метою розробки в даному випадку є не тільки виробництво надійної системи моніторингу стану інструменту, але і

уявлення якомога дешевшою системи. Для того щоб втілити це в реальність, використовувані в роботі системи датчики повинні функціонувати на відносно низьких частотах (щоб не було необхідності максимально збільшувати показники отриманих від реалізованого датчика характеристик).

Побудова точних моделей є досить серйозною, не вирішеною на сьогоднішній день проблемою. Перш за все, побудова точної математичної моделі впирається в значне число експериментальних досліджень. Це, як відомо, досить витратний процес, що вимагає значної кількості матеріальних засобів. За допомогою точних математичних моделей, наприклад, недоцільно проводити пошук оптимальних режимів різання, оскільки це вимагає істотних витрат на апаратну частину системи, що призводить до значного підвищення ціни кінцевої системи. Також подібна модель неминуче буде піддаватися постійній зміні через безперервно змінюються параметрів процесу різання. Нова точна модель буде потрібна в кожному конкретному випадку.

Універсальним методом в подібних ситуаціях є застосування адаптивних систем, що функціонують на основі незмінних алгоритмів.

Їх істотний мінус полягає в тому, що такі системи мають досить низькою якістю адаптації до зміни технологічних параметрів саме за рахунок використання подібних алгоритмів. Можна зробити висновок про те, що здатність системи до адаптації різко підвищувалася б при перестроюванні самої системи разом зі змінами в параметрах процесу різання.

Для вирішення завдань такого типу можна використовувати підхід на основі застосування нейронних мереж. Як відомо, нейросеть має здатність до навчання на основі співвідношення «вхід-вихід», а також дозволяє забезпечити більш прості рішення для складних завдань, пов'язаних з управлінням.

Нейронна мережа, на відміну від традиційних методів адаптивного управління, не використовує складних математичних апаратів.

2.4 Підхід до моніторингу стану інструменту з використанням адаптивної нейро-нечіткої системи виведення «ANFIS»

В роботі [46] авторами вводяться таке поняття коефіцієнта використання встановленого датчика. Цей коефіцієнт є функцією від кількості робочих характеристик, що використовуються конкретним датчиком, загальною кількістю характеристик датчиків в системі і кількістю фізичних сигналів датчика. Авторами доведено, що застосування коефіцієнта використання встановленого датчика дуже ефективно при обліку скорочення витрат на моніторинг стану інструменту. Особливо це помітно при видаленні з системи датчиків, які не виробляють достатньо корисні сигнали. Аналіз витрат розраховується з використанням змінної вартості системи (витрати на заміну і установку датчиків).

Запропонований підхід складається з двох основних етапів: по-перше, була розроблена модель зносу інструменту на основі модуля ANFIS (Adaptive Network-based Fuzzy Inference System - адаптивна мережа нечіткого виведення). Використовувався набір даних, отриманих в ході реальних випробувань, проведених під час обробки на фрезерному верстаті Heller, обладнаним датчиком сили Kistler. Навчена ANFIS-модель зносу інструменту згодом запускалася разом з нейронною мережею для оцінки стояння зносу інструменту (новий, зношений).

Це типова система моніторингу стану інструменту, в якій використовується датчик для збору сигналів сил різання при фрезеруванні за допомогою модуля зберігання даних. Модуль обробки сигналу аналізує сигнали процесу різання для виділення характеристик, чутливих до зносу інструменту, які будуть використовуватися в якості входних величин в системі прийняття рішень на основі оцінки даних. Основною метою системи є зіставлення входних функцій для поточного стану інструменту, тобто визначення сумарного зносу інструменту.

В якості вирішення навченості системи, зменшення шуму та можливості операцій паралельної обробки використовується нейронна мережа багатошарового персептрона з алгоритмом зворотного поширення помилки [46]. Модуль класифікації випадкових шаблонів розділяє дані в набори навчання і набори

тестування. Навчальний набір використовується для навчання поточної мети, в той час як набір тестування використовується для оцінки продуктивності системи.

При розробці моделі автори взяли два різних типи функцій приналежності для аналізу в навчанні модуля ANFIS і провели порівняння їх відмінностей щодо швидкості і точності прогнозу зносу інструменту по задній грані. Після навчання блоку оцінки його продуктивність була протестована в різних умовах різання. Ефективність цього методу виявилася задовільним для оцінки зносу по задній поверхні, в межах 5% як середній відсоток помилки.

Структура нечіткої системи логічного висновку є мережу, яка відображає входи через входні функції приналежності і пов'язані з ними параметри, а потім, через вихідні функції приналежності і пов'язані з ними параметри, позначає виходи.

Експерименти проводилися для всіх комбінацій обраних параметрів різання і зносу інструменту. Були встановлені наступні параметри режимів різання: чотири рівні швидкості подачі ($f_1 = 0,05$; $f_2 = 0,25$; $f_3 = 0,35$; $f_4 = 0,45$ мм / зуб), чотири рівні швидкості шпинделя ($n_1 = 200$; $n_2 = 360$; $n_3 = 340$ і $n_4 = 480$ хв-1) І три рівні радіальної / осьової глибини різання ($RD_1 = 1d$, $RD_2 = 0.5d$, $RD_3 = 0.25d$; $AD_1 = 2$, $AD_2 = 4$, $AD_3 = 8$ мм; $d = 16$ мм). Такі параметри як діаметр ріжучого інструменту, кут нахилу і т.д. приймаються константами. Точність даних навчального набору склала 98,1%, і точність випробовуваних даних - 94,9%. Значення вузла виходу нейронної мережі зворотного поширення було відзначено як 0.01 для нормального стану ріжучого і 0,99 для зношеного інструменту.

Коли виходи нейронної мережі виходи фіксують позначку 0,9 (поломки інструменту), мережа посиляє на комп'ютер сигнал «Інструмент зношений». Коли обидва виходи нейронної мережі мають значення нижче 0,9, мережа посиляє сигнал «Інструмент придатний».

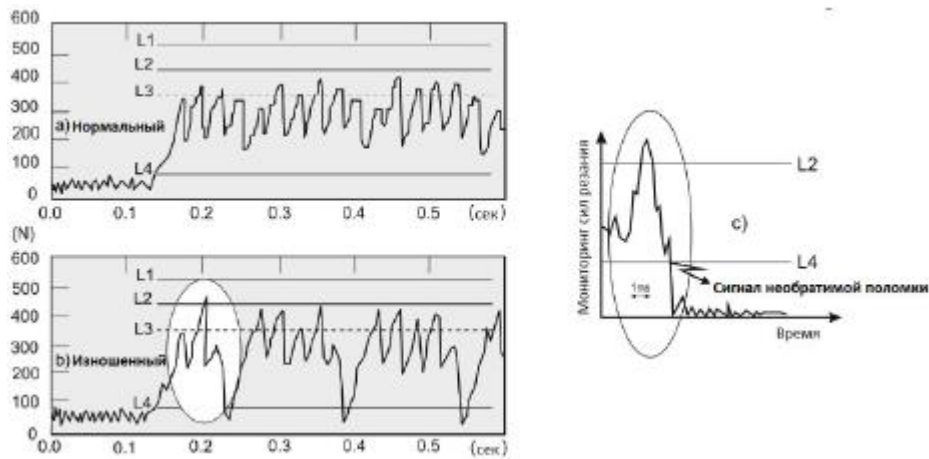


Рисунок 1.2 - Осьова сила а) нормального і б) зношеного інструменту в моніторингу стану інструменту в реальному часі, в) індикація про поломку інструменту щодо меж розподілу зусиль.

Рисунки а) і б) представляють сигнали сил різання для нормального і зношеного інструменту. Розроблена нейро-нечітка система прийняття рішень включає в себе фіксовані межі для виявлення поломки інструменту. Обмеженнями є: L1 (тріщина в інструменті), L2 (перелом інструменту), L3 (знос інструменту) і L4 (відсутні обмеження у використанні інструменту).

2.5 Сучасний стан методів моніторингу в зарубіжній літературі

Вимірювання сили різання і крутного моменту

На сили, що розвиваються при обробці, впливає геометрія інструменту [154]. В міру того як інструмент зношується - геометрія змінюється, тим самим змінює силу різання. Ранні досліді [123, 133] виявили, що поздовжня і радіальна складові сили більш чутливі до зносу інструменту, ніж сила різання. Радіальний компонент сили, як було відмічено, буде більш чутлива до зносу вершини, а радіальна і поздовжні компоненти сили знаходяться під впливом зносу задньої поверхні [139, 158]. Становлення сил також може бути використано для передбачення зносу інструменту, так як вони представляють певну модель зносу інструменту [114].

Метод оцінки зносу інструменту (TWEM - Method for Tool Wear Estimation) на основі вимірювання сили різання і крутного моменту при торцевому

фрезеруванні запропонували Е. Kuljanic, М. Sortino [129]. У даній роботі проводиться повнофакторний експеримент з метою отримання залежностей між компонентами сили різання, крутного моменту і режимами обробки (швидкість різання, глибина, подача). Будується модель, яку в сукупності зі стійкою залежністю планується застосовувати для оцінки поточного стану інструменту. Автори даного методу не відповідають на питання обліку в моделях змін у властивостях матеріалу інструменту та заготовки з різних партій, нестаціонарності режимів обробки і вплив зовнішнього середовища. Умови механічної обробки жорстко детерміновані, а номенклатура матеріалів обмежена експериментальним набором даних, що є неприйнятним для дрібно- і середньосерійного виробництва.

В роботі китайських дослідників Н. Shao, Н. L. Wang, Х. М. Zhao [155] також побудована модель залежності потужності різання від режимів обробки, параметрів інструменту і заготовки. В процесі роботи проводиться порівняння виміряного сигналу від датчика потужності приводу головного руху з оцінкою по моделі. При перевищенні порогового рівня розрахованого значення сили, система видає сигнал в систему управління на зміну інструменту. Недоліки такої системи досить очевидні - при різній номенклатурі використовуваних матеріалів та інструментів час підготовки значно збільшується через необхідності настройки системи, крім того, відсутня можливість адаптації системи до неминучого дрейфу параметрів верстатного комплексу (пов'язані з температурними деформаціями, неоднорідності структури властивостей матеріалів інструменту і заготовки і т.д.). Швидкодія такої системи не висока, оскільки вимірювальна ланцюг просторово віддалена від зони різання.

Вимірювання сигналів акустичної емісії

У процесі різання заготовля піддається значним пластичним деформаціям, які пов'язані з генеруванням хвиль акустичної емісії (АЕ).

Інтенсивності зносу інструменту проявляються в зоні різання зміною в сигналі АЕ. У відповідності зі своїм високочастотним чином (1 кГц до 1 МГц, рознесені в залежності від резонансу верстата), акустична емісія більш чутлива до зносу інструменту, ніж сила різання [115].

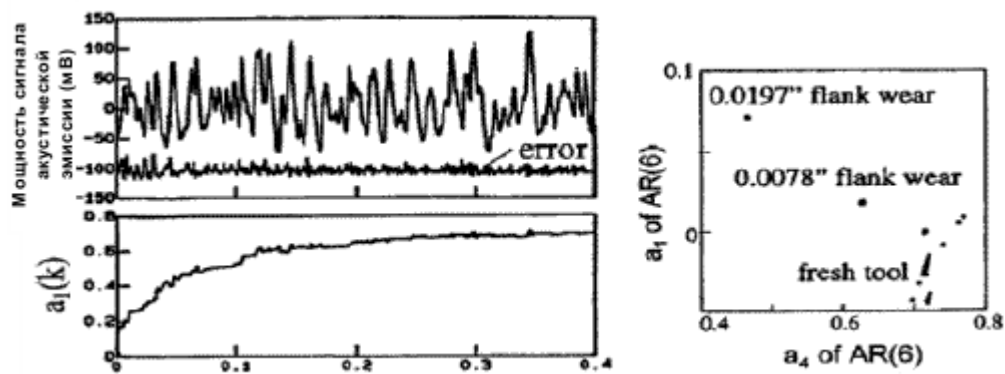


Рисунок 1.3. Використання коефіцієнтів регресійного ряду 6-го порядку для моніторингу зносу інструменту: сигнал акустичної емісії, коефіцієнт і його помилка моделювання. Розташування компактних класів зносу інструменту в ортогональному просторі коефіцієнтів регресійного ряду [130]

Тісна кореляція сигналів AE RMS (потужності сигналів акустичної емісії) з зносом інструменту була показана Moriwaki і Tobito [137], де статистичний образ, подібний середній дисперсії і коефіцієнтам середньоквадратичного відхилення, пов'язані із зносом інструменту. дисперсія була основним чутливим параметром, що показує зростання амплітуди внаслідок зносу інструменту.

Інші параметри акустичної емісії, такі як час наростання, частота і темп тактів, а також коефіцієнти рядів Фур'є [132], як показано на рисунку 1.3, також мають кореляцію з зносом інструменту, але їх чутливість залежить від розташування датчика, жорсткості, матеріалів і режимів процесу різання, що надзвичайно ускладнює проблему застосування даної технології в виробництві.

Виміряні сигнали вібрації і акустичної емісії мають високий рівень перешкод, пов'язаних з виробничим середовищем. Основною інформативною характеристикою таких сигналів є дисперсія, яка має найбільшу чутливість до зносу при заданих характеристиках інструменту і мінімальну чутливість до шумів. Дослідженням сигналів акустичної емісії при різанні присвячені роботи Richard Y. Chiou a, Steven Y. Liang b [146].

Вимірювання вібрації

Litao Wang [134] пропонує ідентифікувати стан по вимірюванню сигналів вібрації. Датчик при цьому розміщується на держаку інструменту в напрямку подачі.

Сигнал посилюється, фільтрується низькочастотна складова (Частота зрізу фільтра 6кГц), і оцифровується з частотою 100кГц, використовуючи 12 - бітний АЦП. Використовуючи дискретні вейвлет-перетворення [29, 105, 118, 119, 116] з вихідного сигналу для гострого і зношеного інструменту, отримують вейвлет-коефіцієнти різних порядків.

На основі аналізу розподілу енергії сигналу по порядку вейвлетрозложенія, використовуючи дискретні приховані Марковські моделі [124, 135], створюють матрицю розпізнавання, що містить по 5 образів для кожного розпізнається класу. Успішність зробленого висновку про приналежність поточного стану до класу «нормальний» або «зношений» за твердженнями авторів, досягає 97%.

На жаль, в роботі не наводяться дані про номенклатуру випробовуваних пар інструмент-заготовка і немає даних про обсяги проведених випробувань. В якості переваг даного підходу можна відзначити простоту алгоритмів моніторингу, універсальність методів для будь-якого типу оброблюваного матеріалу практично на будь-якому обладнанні. Як недолік даного методу можна відзначити відсутність кількісної оцінки зносу. (В якості критерію зносу прийнятий максимальний знос 0,6 мм; середній знос ріжучої кромки 0,3 мм, відповідно з рекомендаціями ISO 3685 для карбідних інструментів).

C. Scheffer and P. S. Heyns [149] на основі сигналу вібрації і застосування нейронної мережі на основі самоорганізованої карти Коухен отримали 100% достовірність результатат класифікації розмірного зносу алмазного інструменту при обробці алюмінієвого сплаву.

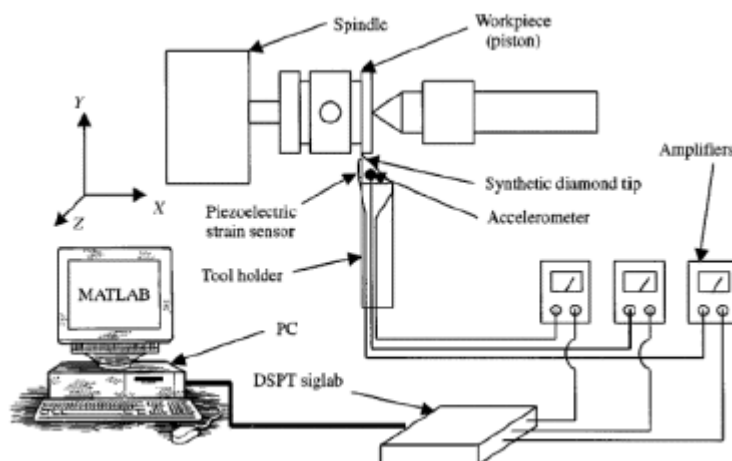


Рисунок 1.4. Схема експериментальної установки

Сигнал знімався протягом 10 сек з частотою 25,6кГц.

До переваг даної системи можна віднести мінімальну кількість первинних перетворювачів (не вимагає вимірювання режимів обробки - швидкості, подачі, глибини), всю необхідну інформацію витягуючи з поточних вимірювань вібрації. До недоліків - низька швидкодія. Робота має вузькоспрямовану спеціалізацію на обробці алюмінієвих сплавів алмазним інструментом. Таким чином, система працює на лінійній ділянці зносу інструменту. Дослідження якості системи при обробці інших, більш твердих матеріалів, автори не наводять.

Комплексне вимірювання параметрів різання

При створенні адаптивних методів моніторингу стану інструменту в мінливих умовах механічної обробки приходять до висновку, що окремі непрямі параметри (сила різання, вібрація, хвилі акустики) не можуть дати повну інформацію про стан ріжучого клина інструмента. Silva R. G., Baker K. J., Wilcox S. J. and Reuben R. L. [151] пропонують систему, поєднує різні непрямі методи контролю. схема установки представлена на рисунку 1.5.

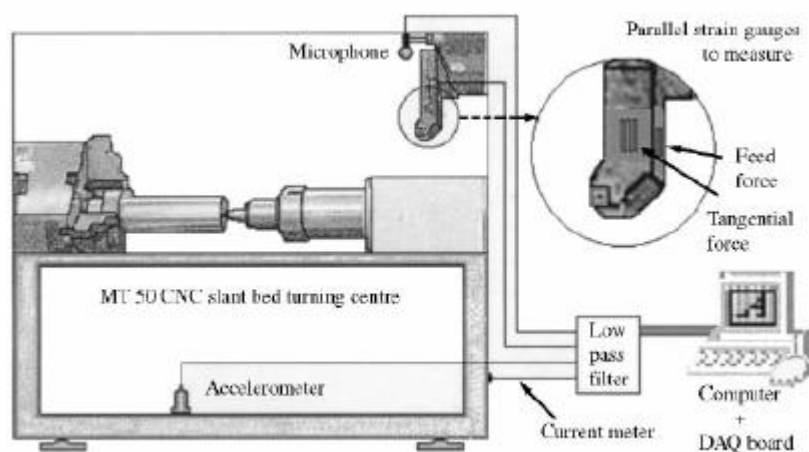


Рисунок 1.5. Схема токарного автомата і системи розміщення датчиків

Отримуючи з вимірюваних сигналів середнє значення, середнє відхилення, 3-й і 4-й статистичний моменти, а також Фур'є-образи сигналів і аналізуючи їх з допомогою нейронної мережі, побудованої на основі самоорганізується карти Коухен, роблять оцінку зносу інструменту при різних умовах обробки.

Експериментальна перевірка проводилася на партії різців з одного матеріалу при обробці однієї заготовки. Результат достовірності прогнозу представлений на рисунку 1.6.

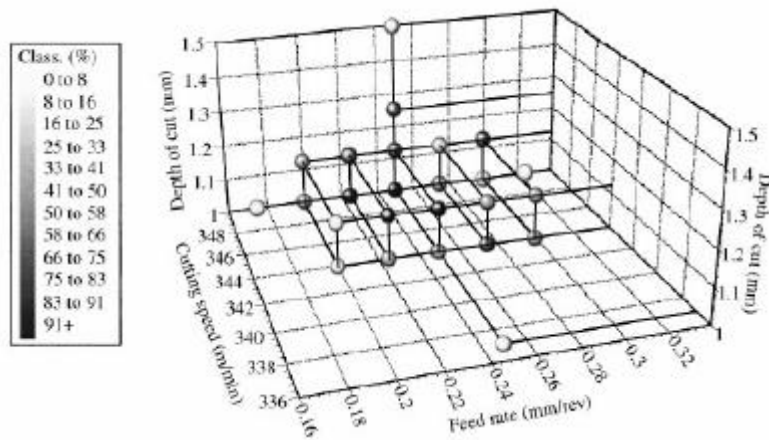


Рисунок 1.6. Карта достовірності оцінки зносу для різних умов обробки

Як видно з цієї карти, достовірність прогнозу навіть в області робочих режимів досить низька. Недолік використання такої системи також очевидний - потрібне проведення трудомісткої процедури навчання мережі при кожному зміні номенклатури інструменту і / або заготівлі. безліч датчиків ускладнюють конструктивне виконання верстатного модуля і знижують його надійність. Експериментальні дані по вимірюванню сил різання і вібрації наведені D.E. Dimla Sr. a, P.M. Lister b. в [120].

Дослідження з використання динамометра, акселерометра і двох датчиків за акустичними коливань заготовки і шпинделя проведені в роботі [147]. При високошвидкісному точінні сталі (60 HRC), кінцевий фрезою Karnasch 30.6472 carbide end mill (12% Co micro-grained cemented carbide with a single layer of TiAlNAl, 3 m film thickness) 12mm в діаметрі.

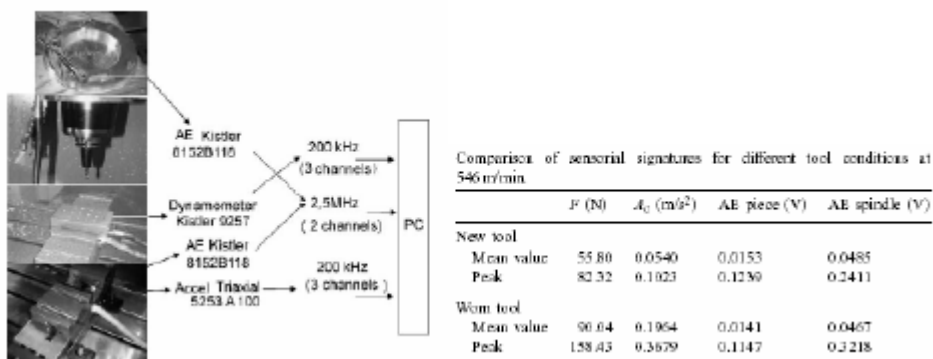


Рисунок 1.7. Спрощена схема системи моніторингу при високошвидкісній обробці і результати вимірювання

Будуючи систему на основі аналізу Фур'є-образу сигналу і визначення двох станів «нормальний» і «зношений». С. Scheffer a, Н. Kratz b, P.S. Heyns a, F. Klocke b. [148] пропонують систему моніторингу для важкооброблюваних матеріалів (Рисунок 1.8).

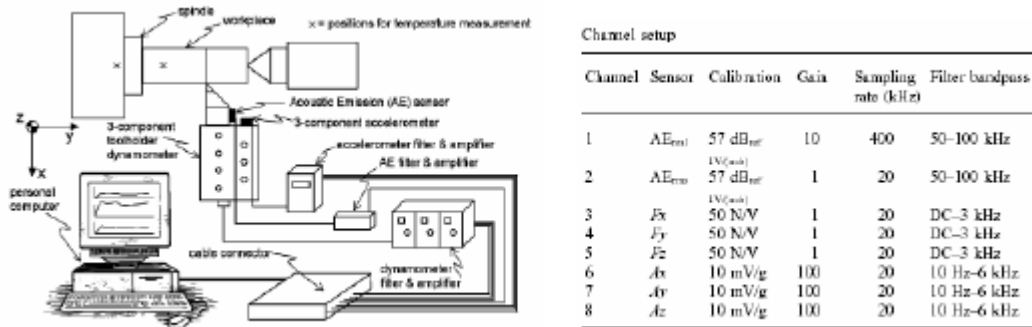


Рисунок 1.8. Схема експериментальної установки і вимірювальні канали

Вимірюючи компоненти вібрації і сили різання по трьох осях, а також сигнали акустичної емісії, проведені експерименти з використанням двох комбінацій матеріалів інструменту і заготовки на різних режимах обробки і різному устаткуванні. В результаті кореляційного аналізу, проведеного з допомогою нейронної мережі (самоорганізована карта), будують прогноз стану інструменту. Результати наведені на рисунку 1.9.

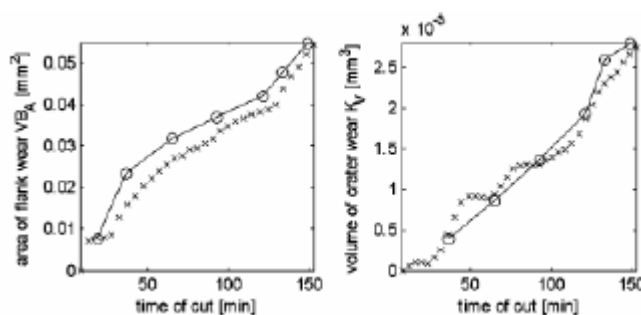


Рисунок 1.9. Результати прогнозу: про - виміряні значення; х - значення зносу, оцінені за моделлю

Наведені вище наукові дослідження реалізовані в продукції світових лідерів датчиків і комплексних систем моніторингу та діагностики стану різних механічних систем. Це провідні виробники Європи "Briel & Kjaer "(зараз ця фірма об'єдналася з фірмою" Schenk ") (Данія - Німеччина), "Diagnostic Instruments"

(Великобританія), а також великі виробники США і Канади - DPL-Group (Канада), VibroTek, Inc. (Колишня назва – Inteltech Enterprises, Inc.), (США).

2.6 Вибір методу моніторингу стану РІ

Всі перераховані вище методи мають обмежену сферу застосування і визначаються характером процесу, що протікає, контактніруемое парою і застосовуваної системою управління. Більшість методів дорогі, вимагають складних технічних засобів, застосовні в основному в лабораторних умовах для отримання нових залежностей і важкоадаптовані до виробничих умов.

При виборі методу керуються такими критеріями:

- інваріантність вимірюваного параметра до режимам і умов обробки;
- швидкодія алгоритмів розпізнавання на основі даного методу;
- точність вимірювання;
- надійність і достовірність отриманої оцінки;
- простота технічної реалізації (вартість системи моніторингу).

Найбільш прийнятними до виробничих умов за представленими критеріям є методи контролю, засновані на реєстрації віброакустичної емісії, величини термоЕРС і електропровідності контакту «Інструмент-деталь».

Метод моніторингу, заснований на реєстрації віброакустичної емісії, є найменш чутливим до змін режимних параметрів і умов механічної обробки. Однак швидкодія даного методу обмежена, оскільки оцінка стану РІ проводиться на основі аналізу спектра цифрового ряду, а зменшення пакета даних веде до різкого зниження достовірності оцінки. Істотним недоліком є низька достовірність оцінки зносу при класичному аналізі, заснованому на порівнянні співвідношень коефіцієнтів Фур'є для різних частот (частотних діапазонів).

Метод вимірювання, заснований на реєстрації постійної складової термоЕРС, є більш точним, надійним і має більш високу швидкодію. Але його використання ускладнене через складність моделювання паразитних термо і

«провалів» температури, що призводять до тому, що функція середньої температури контакту від ступеня зносу інструменту стає немонотонною. Температура контакту також істотно залежить від режимів обробки, геометрії інструменту та інших умов обробки. Таким чином, область використання даного методу обмежена групою важкооброблюваних струмопровідних матеріалів (де «провали» температури незначні, а величина термоЕРС велика) в умовах стаціонарної обробки.

Електрична провідність контакту "інструмент-деталь" відображає температурно-силові і контактні явища, що супроводжують процес різання.

Має високу швидкодію і надійність, в порівнянні з іншими методами, оскільки місце контакту саме є джерелом інформації (датчиком), а рівень знімається сигналу досить високий для того, щоб виділити його з усього різноманіття перешкод і наведень, пов'язаних як з самим процесом, так і викликаних роботою машин, приводів і впливом зовнішнього технологічного середовища. ЕП КИД залежить від умов і режимів механічної обробки, проте на відміну від термоЕРС, функція залежності монотонна, а по більшості параметрів практично лінійна. У порівнянні з методом, заснованим на аналізі сигналу віброакустичної емісії, точність і достовірність оцінки зносу РІ набагато вище.

З проведеного аналізу випливає:

- в умовах нестаціонарності режимів різання, при обробці нових матеріалів, моделі ПР для яких невідомі, а вимоги до швидкодії системи не високе (менше 1 Гц), найкращим є метод моніторингу, заснований на аналізі сигналу віброакустичної емісії.

Для промислового застосування потрібно підвищити достовірність оцінки зносу РІ шляхом вдосконалення алгоритмів обробки тимчасового ряду заміни Фур'є-перетворень на wavelet-перетворення.

- для груп важкооброблюваних матеріалів, для яких є модель в БД, а також при виявленні критичних станів інструменту, метод моніторингу, заснований на вимірюванні електричних сигналів, більш кращий, оскільки має більш високу швидкодію, точність і достовірність.

Для застосування у виробництві потрібна розробка системи, здатної формувати модель ПР в оперативному режимі на основі експериментальних даних. А також створення алгоритмів адаптації, що зберігаються в БД моделей по оперативної інформації від датчиків для моніторингу поточного стану РІ.

2.7 Методи оцінки параметрів нечітких кордонів стійкості ріжучого інструменту

Попередня оцінка гарантованої стійкості інструменту особливо важлива при обробці на верстатах з ЧПУ, так як планова заміна інструменту відповідно до гарантованої стійкості дозволить зменшити втручання оператора в процес обробки або запрограмувати припинення обробки при досягненні граничного зносу. При визначенні нечітких кордонів стійкості РІ в процесі експлуатації верстатів можуть виникати такі типові ситуації:

1. На основі статистичних випробувань встановлені статистичні характеристики зносостійкості (для партії інструменту, що поставляється зарекомендувала себе фірмою), стабільності матеріалу і стану поверхонь заготовки, стану верстата і ін. Це відносно рідкісна ситуація по ряду відомих причин - в т.ч. відмінності оброблюваності матеріалів заготовок, стану поверхонь та ін., відмінності режимів обробки. При контролі часу різання інструментом граничний час приймається з урахуванням параметрів розподілу зносостійкості, допустимої ймовірності настання відмови [30].

2. Відсутні статистичні дані по зносостійкості, але є можливості проведення обмежених прискорених випробувань РІ на конкретному верстаті з ЧПУ [73].

3. Відсутня можливість виконання прискорених випробувань. Однак зазвичай наладчики і / або оператори багатоопераційних верстатів з ЧПУ на основі власного досвіду роботи з конкретними видами інструментів можуть виконувати функції експертів.

При прояві кожної з зазначених вище типових ситуацій виникає ряд питань щодо їх вирішення. У зв'язку з цим, пропонується ряд методів для оцінки параметрів FB стійкості ріжучого інструменту.

2.8 Оцінка параметрів нечіткого кордону на основі статистичної обробки даних

На основі статистичної обробки дослідних даних встановлюється вид розподілу значень стійкості (по допустимій величині зношування ножа) і основні параметри розподілу. Так, якщо отримане розподіляється та узгоджується з теоретичним, наприклад нормальним, то використовується відома залежність:

$$f(T) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-T_{cp})^2}{2\sigma_T^2}}$$

де T_{cp} - математичне очікування напрацювання до відмови (прийнятого за значенням допустимого зносу PI), σ_T - середньоквадратичне відхилення часу роботи до відмови.

Значення часу гарантованої стійкості T_1 для лівого краю нечіткої прикордонної смуги стійкості можна визначити, використовуючи залежність [30]:

$$T_1 = T_{cp} - k_1 \sigma_T$$

Значення квантиля нормального розподілу $k_1 = 1,645$ приймається з умови того, що відмова інструменту не наступить з ймовірністю 0,95 з урахуванням впливу безлічі випадкових чинників процесу різання. Починаючи з часу T_1 передбачається перехід в режим стеження за станом інструменту на всій ширині b полоси FB, тобто до моменту не раніше T_2 в діапазоні ймовірностей $[0,95; 0,85]$. При цьому $k_2 \approx 1$.

$$T_2 = T_{cp} - k_2 \sigma_T.$$

У період b ($b = T_2 - T_1$) система функціонує в режимі обробки з використанням можливості діагностування стану інструменту і процесу різання з

метою коригування режимів і виявлення необхідності зміни інструменту по появі ознак можливої відмови [70].

Коригування режимів може бути здійснене, наприклад, для забезпечення можливості завершення розпочатої на технологічному переході обробки поверхні. При призначенні T2 потрібно враховувати оснащеність верстатної системи засобами спостереження за станом інструменту online або можливість присутності оператора біля верстата.

2.9 Оцінка параметрів нечіткого кордону на базі прискорених випробувань

При експлуатації верстатного устаткування в умовах комп'ютеризованого виробництва при конвеєрному випуску готової продукції часто не буває можливості проведення великого числа випробувань, на основі статистики яких можна було б оцінити гарантоване значення стійкості інструменту.

При наявності резервного часу у оператора / наладчика верстата при підготовці машини до подальшого використання нового інструменту доцільно провести попередні випробування від 3 до 5 зразків цього РІ.

Як було зазначено раніше, можливо застосувати метод прискорених випробувань, рекомендований професором Проніковим А.С. в роботі [73].

Суть методу полягає в призначенні гранично допустимих значень параметрів процесу різання, рекомендованих технологією режиму обробки поверхні даної деталі.

Різноманіття факторів, що впливають на стійкість інструменту, включає [74]:

- ☐ хімічний склад і структура оброблюваного матеріалу, його твердість;
- ☐ стан поверхневого шару заготовки (кірка, піщані включення, раковини);
- ☐ умови обробки (нерівномірний припуск, переривчасте різання, удари);
- ☐ стан верстата;
- ☐ швидкість різання, величина подачі і глибина різання;

- марка інструментального матеріалу і геометричні параметри інструменту;
- наявність і вид МОР та ін.

При призначенні умов прискорених випробувань потрібно мати на увазі, що усереднені характеристики цих факторів враховуються при розробці технології і складанні програми ЧПУ. Тому при проведенні подібних випробувань можна скористатися зміною варійованих режимів обробки, які найбільшою мірою впливають на зносостійкість РІ.

Оцінка гарантує значення в нечіткому кордоні стійкості РІ і виконується по граничних значень швидкості різання, подачі і інших параметрів, характерних для технологічного переходу, що виконується досліджуванним інструментом.

2.6 Оцінка параметрів нечіткого кордону на основі використання методології штучного інтелекту

При відсутності можливості виконання прискорених випробувань пропонується використання методу оцінки параметрів FV стійкості РІ, заснованого на методології штучного інтелекту. Функції експертів можуть виконувати наладчики / оператори багатоопераційних верстатів з ЧПУ на основі власного досвіду роботи з конкретними видами інструментів.

Одним з варіантів рішень, які довели ефективність застосування для оцінки надійності РІ відповідно до працями зарубіжних вчених [46,71], є нейро-нечіткий моніторинг процесів обробки.

Пропонується до використання система, що моделює нелінійну залежність часу стійкості інструменту від локального зміни твердості поверхні заготовки і основних варійованих факторів режиму обробки - величини подачі і швидкості різання [74]. Моделювання виконано на базі адаптивної системи нейро-нечіткого

виводу ANFIS (AdaptiveNetwork-based Fuzzy Inference System) в середовищі MATLAB з пакетом розширення Fuzzy Logic Toolbox [75]. Застосування методів нечіткої логіки і нейронних мереж для вирішення питань призначення нечітких кордонів дало можливість гібридній системі закладати в інформаційне поле нейросистеми апріорний досвід фахівців, що працюють з верстатами з ЧПУ, і витягати знання при використанні нечіткого представлення інформації.

Нейромережа можна розглядати як різновид системи нечіткого логічного висновку типу Сугено. У лінгвістичній моделі виведення нечіткі множини висновків (висновку) є одноточечними множинами, що представляють дійсні числа f_i безлічі висновків Y .

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ НА ОСНОВІ ПРИНЦИПІВ І МЕТОДОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

3.1 Розробка системи моніторингу стану інструменту

Для отримання інформація про стан РІ в режимі реального часу (моніторингу) використовується техніка потокової і покадрового обробки сигналу. Процес подібної обробки сигналу в загальному випадку включає в себе наступні етапи:

- ☐ отримання списку пристроїв-джерел сигналу;
- ☐ ініціалізація підключення до необхідного пристрою;
- ☐ управління пристроєм;
- ☐ отримання окремих кадрів з потоку;
- ☐ обробка отриманого кадру;

- закриття з'єднання з джерелом сигналу.

Запис проводиться за допомогою мікрофона з частотою дискретизації 20 кГц і розміром фрейму 20 кГц., Що є одним з компонентів вимірювальної електронної системи Machining Navi M-g вертикального обробного центру Okuma MB-46 VAE.

3.2 Витяг векторів властивостей

Витяг інформації з звукового сигналу в режимі реального часу має на увазі, що його обробка проводиться за невеликий час.

Тому вхідний сигнал представляється у вигляді спеціального вектора властивостей (або вектора ознак), певним чином його характеризує. У даній системі використовується класичний підхід кепстральних коефіцієнтів, алгоритм обчислення яких можна розділити на 3 етапи.

Обчислення спектральної щільності потужності (функція щільності спектра потужності).

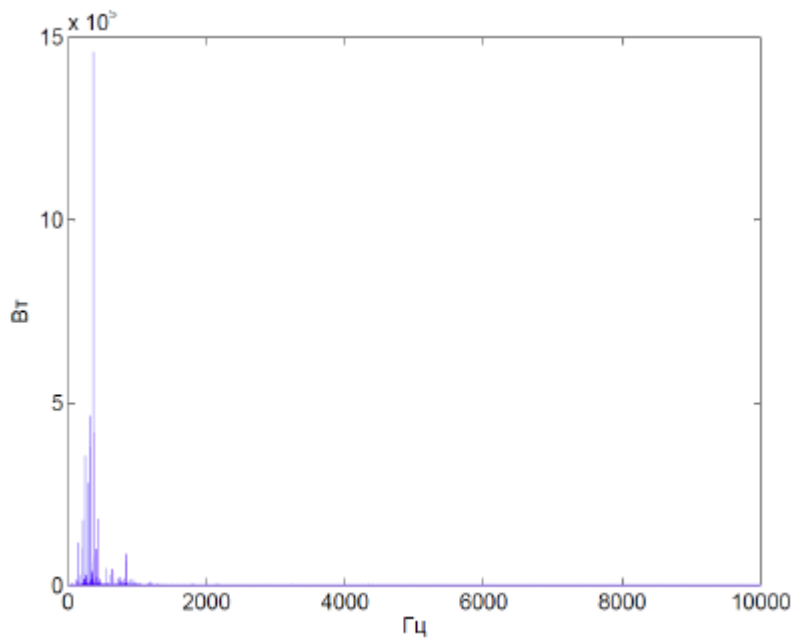
Використовується залежність:

$$\hat{S}_d(a, k) = \left| \sum_{j=0}^{N-1} w(j)s(a, j)e^{-\frac{2\pi i k j}{N}} \right|^2,$$

де:

- $k \in \{0, 1, \dots, K - 1\}$ - номер інтервалу частот;
- N - довжина фрейму;
- $s(a, j)$ - звуковий сигнал у часовій області;
- $w(j)$ - віконна функція в тимчасовій області.

Графічно функція щільності спектра потужності представлена на малюнку

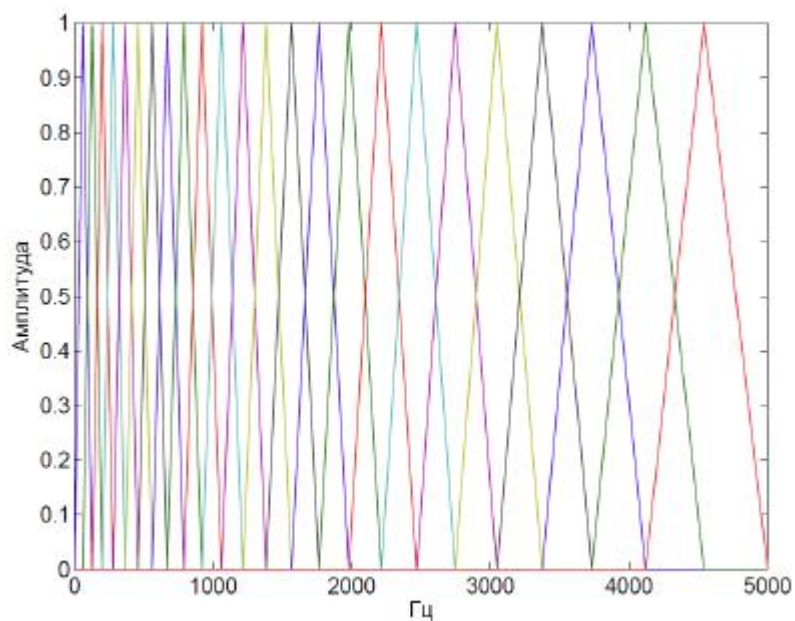


Малюнок 4.1 - Спектральна щільність потужності сигналу фрейму

Спектральна щільність потужності - функція, що описує розподіл потужності сигналу в залежності від частоти, тобто потужність, що припадає на одиничний інтервал частоти. Зберігає інформацію тільки про амплітудах спектральних складових, втрачаючи інформацію про фазу.

Обчислення енергії сигналу в вікнах крейда-фільтра

Для того, щоб розкласти спектральну щільність потужності по мелшкале, необхідно створити «гребёнку» мел-фільтрів (рисунок 4.2). Кожен мел-фільтр це трикутна віконна функція, яка дозволяє оцінити енергію спектральних складових на визначеному діапазоні частот і тим самим отримати мел-коефіцієнт.



Малюнок 4.2 - Гребінка mel-фільтрів

Кількість mel-коефіцієнтів прийнято рівним 24, а аналізований діапазон частот $0 \div 5000$ Гц. Чим більше порядковий номер melкоефіцієнта, тим ширше основу фільтра. Це пов'язано з тим, що розбиття діапазону частот на оброблювані фільтрами діапазони відбувається на шкалі Мілове.

Перетворити значення частоти звуку (Гц) в значення висоти (крейда) можна за формулою:

$$m = \text{тисяча сто двадцять сім} * \ln[f_0] (1 + f / 700); \quad (4.2)$$

Далі для того, щоб побудувати 24 трикутних фільтра буде потрібно 26 опорних точок, рівномірно розподілених на всьому діапазоні значень Мілове.

Зворотне перетворення виконується відповідно до виразу:

$$f = 700 (em / 1127 - 1); \quad (4.3)$$

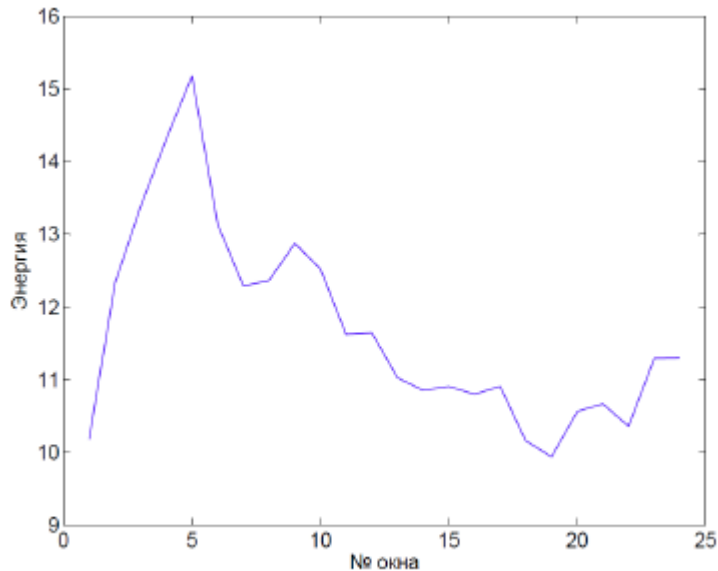
Знаючи значення опорних точок, можна побудувати трикутні melфільтри за формулами:

$$H_m(k) = \begin{cases} 0 & k < f(m-1) \\ \frac{k - f(m-1)}{f(m) - f(m-1)} & f(m-1) \leq k \leq f(m) \\ \frac{f(m+1) - k}{f(m+1) - f(m)} & f(m) \leq k \leq f(m+1) \\ 0 & k > f(m+1) \end{cases},$$

Далі знаходиться енергія сигналу, яка потрапляє в кожне з вікон фільтра:

$$S(m) = \ln \left(\sum_{k=0}^{N-1} \hat{S}_d(a, k) H_m(k) \right), \quad 0 \leq m < M$$

Отриманий набір значень можна назвати mel-частотними спектральними коефіцієнтами. Графічно вони представлені на малюнку 4.3.



Малюнок 4.3 - mel-частотні спектральні коефіцієнти

Для зменшення кількості вихідних параметрів і декореляції компонентів виконується останній етап обчислення кепстральних коефіцієнтів.

Обчислення кепстральних коефіцієнтів сигналу

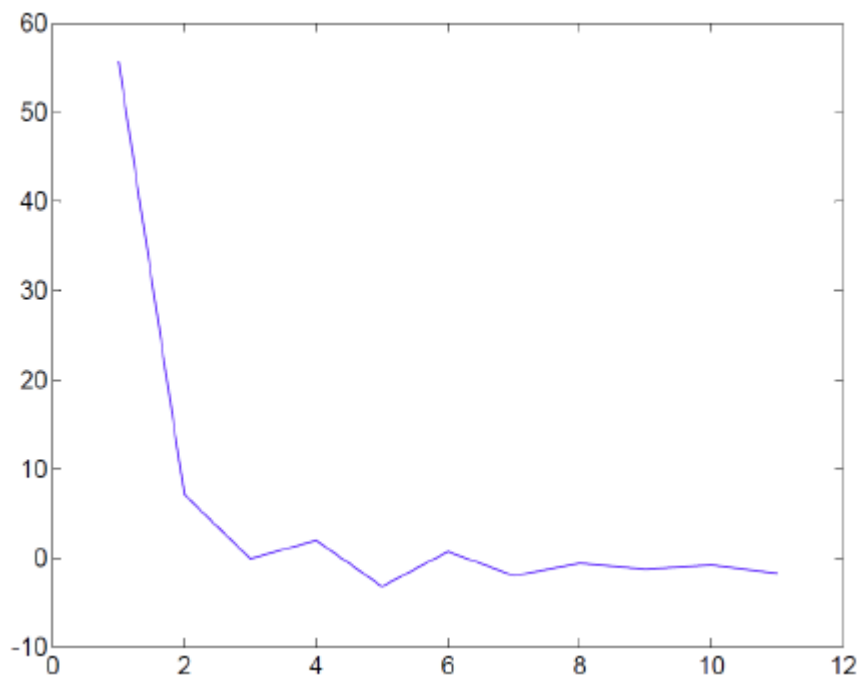
Щоб отримати з mel-частотних спектральних коефіцієнтів кепстральних (рисунок 4.4), або «спектр спектра» необхідно використовувати дискретне косинусне перетворення:

$$c(n) = w(n) \sum_{m=1}^M S(m) \cos \left(\frac{\pi(n-1)(m-0,5)}{M} \right), \quad n = 1, 2, \dots, N$$

де m - кількість фільтрів;

n - кількість кепстра;

$$w(n) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}} & n = 1 \\ \sqrt{\frac{2}{N}} & 2 \leq n \leq N \end{cases}$$

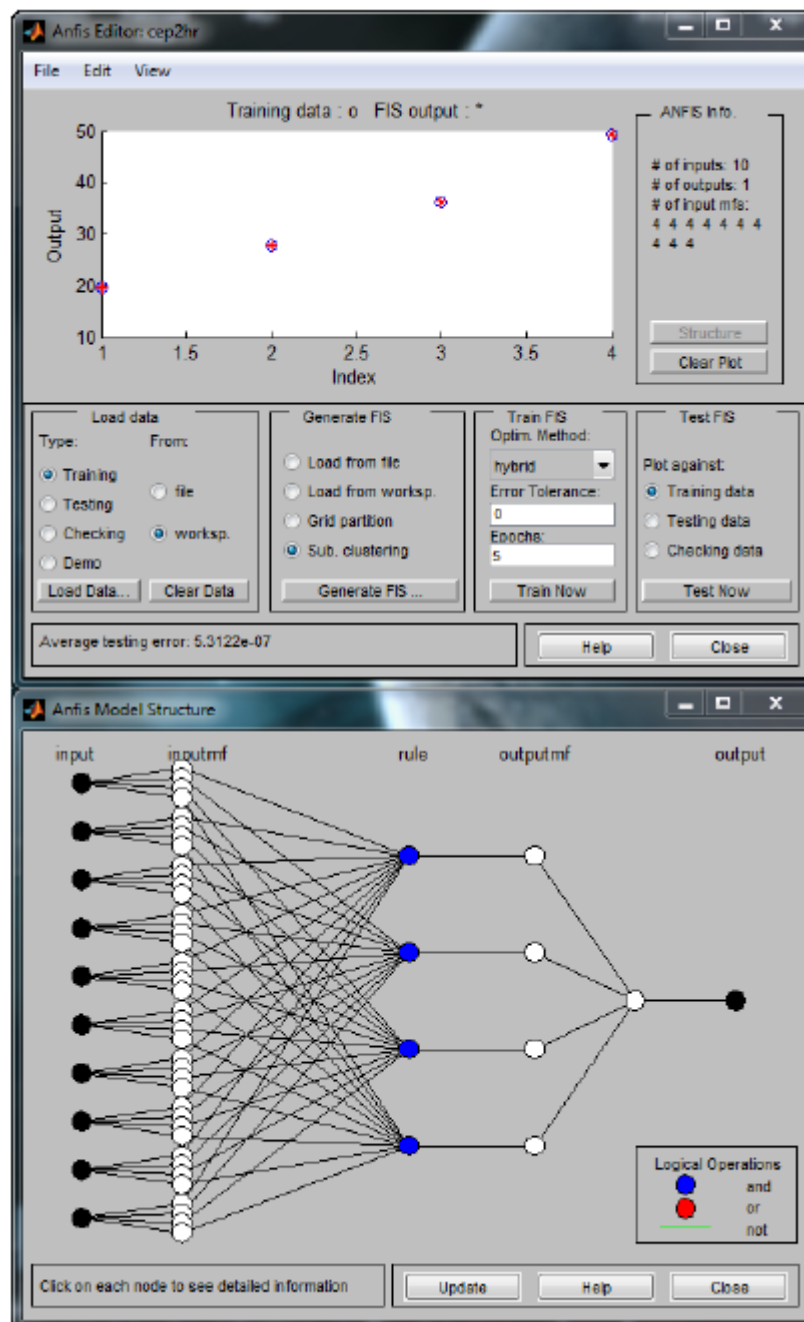


Малюнок 4.4 - mel-частотні кепстральних коефіцієнти

Таким чином були обчислені кепстральних коефіцієнти сигналу акустичної емісії для кожного РІ в моменти часу 10, 25, 40 і 55 хвилин.

3.3 Оцінка радіального зносу ріжучого інструменту

Ідентифікація значень кепстральних коефіцієнтів до радіального зносу інструменту здійснюється за допомогою адаптивної нейро-нечіткої системи виведення (ANFIS), представленої на малюнку 4.5, де определєним значенням кепстра відповідає значення радіального зносу. Навчальна вибірка представляє собою матрицю, кожен рядок якої є парою «входи-вихід». Останній стовпець матриці відповідає вектору значень виходу - значенням радіального зносу, а всі інші стовпці - вхідних даних - значенням кепстральних коефіцієнтів.

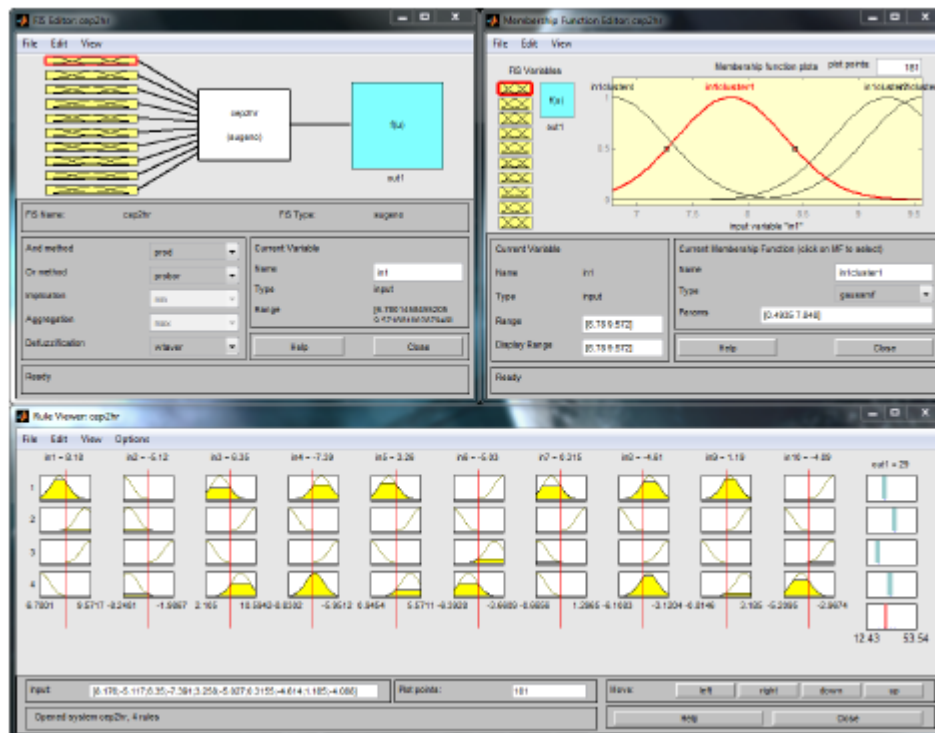


Малюнок 4.5 - Адаптивна нейро-нечітка система виведення (ANFIS)

В якості вихідної системи нечіткого логічного висновку, функції приналежності якої будуть налаштовані за допомогою ANFIS, синтезується нечітка модель типу Сугено з використанням субтрактивної кластеризації. Гірський метод субтрактивної кластеризації дозволяє швидко екстрагувати нечіткі правила з даних. Це однопрохідний метод, який не використовує ітераційних процедур оптимізації. В результаті синтезується нечітка модель Сугено першого порядку з чотирма правилами.

Для тренування цієї моделі застосовується гібридний метод оптимізації, який використовує метод зворотного поширення помилки (метод найшвидшого спуску) для настройки функцій належності вхідних змінних і метод найменших квадратів для знаходження коефіцієнтів лінійних функцій, що зв'язують входи і вихід в кожному правилі.

Отримана налаштована система нечіткого логічного висновку (рисунок 4.6) застосовується для оцінки радіального зносу.

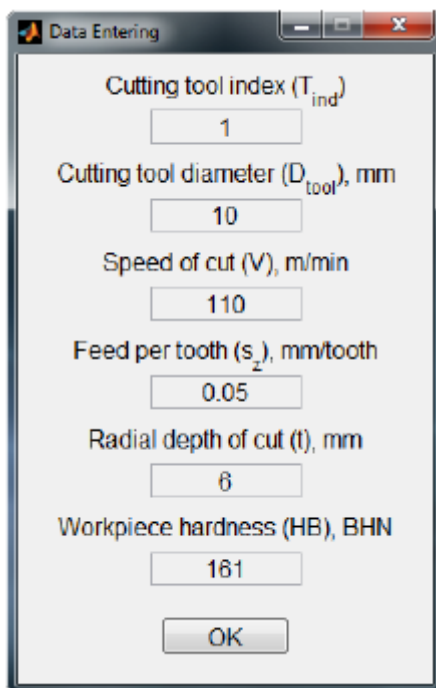


Малюнок 4.6 - Структура системи нечіткого логічного висновку

Розроблена система моніторингу стану інструменту використовує алгоритм вилучення вектора властивостей, систему нечіткого логічного висновку та інформацію про параметри різання для оцінки радіального зносу.

3.4 Інтерфейс системи моніторингу стану РІ

Пропонується до використання система, що моделює нелінійну залежність радіального зносу інструменту від значень кепстральних коефіцієнтів і основних варійованих факторів режиму обробки - швидкості різання, величини подачі, глибини різання і твердості поверхні заготовки для інструменту определённого діаметра. Введення установок режиму обробки проводиться у вікні введення даних (рисунок 4.7).

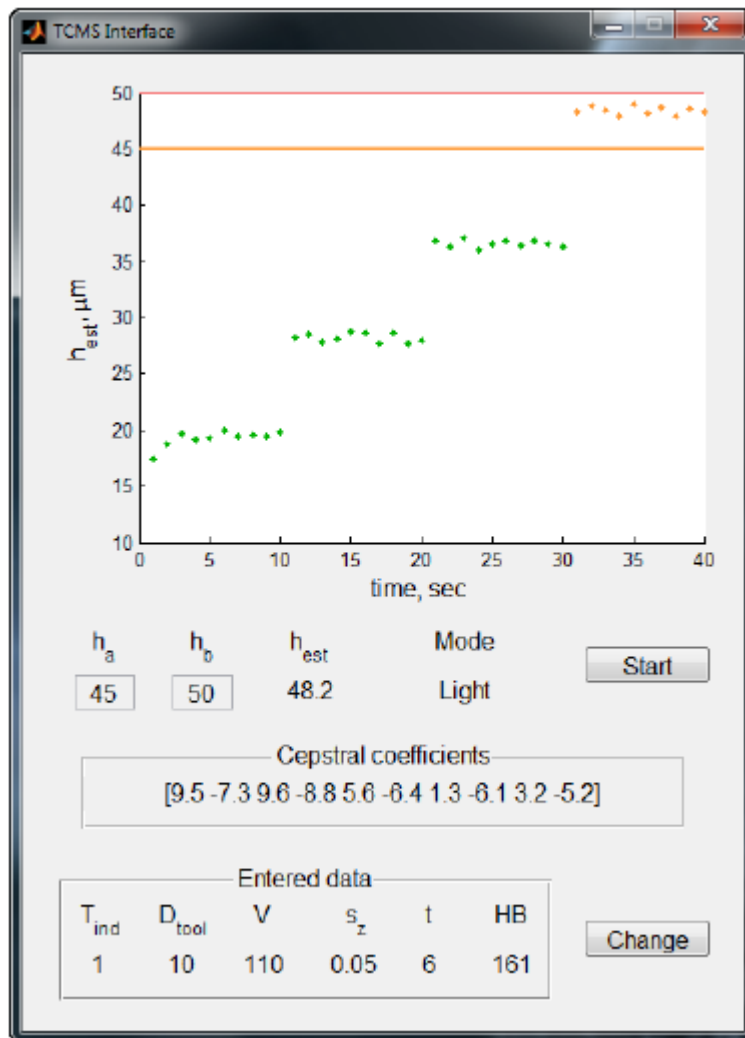


The image shows a 'Data Entering' window with the following parameters:

Parameter	Value
Cutting tool index (T_{ind})	1
Cutting tool diameter (D_{tool}), mm	10
Speed of cut (V), m/min	110
Feed per tooth (s_z), mm/tooth	0.05
Radial depth of cut (t), mm	6
Workpiece hardness (HB), BHN	161

Малюнок 4.7 - Вікно введення даних

Далі дані надходять в вікно основного інтерфейсу системи моніторингу стану інструменту (рисунок 4.8). Інтерфейс реалізований за допомогою програмного пакета MatLab.



Малюнок 4.8 - Інтерфейс системи моніторингу стану РІ

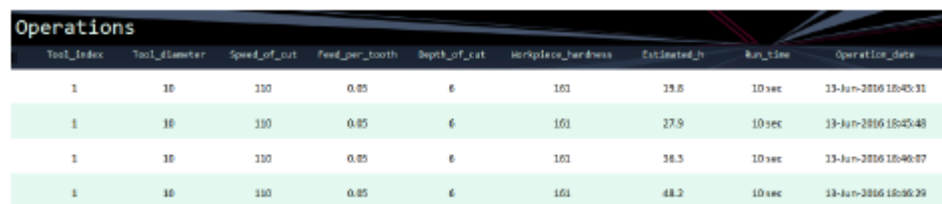
У вікні основного інтерфейсу внизу відображаються введені дані і активна кнопка «Change», яка при натисканні викликає вікно введення даних, дозволяючи змінити введені дані. Решта поля залишаються порожніми до тих пір, поки не буде натиснута кнопка-перемикач (Start / Stop).

При натиснутій кнопці-перемикачі включається мікрофон. Здійснюється потокова і покадрова обробка сигналу з частотою дискретизації 20 кГц і розміром фрейму 20 кГц.

3.5 База даних системи моніторингу стану РІ

Система моніторингу стану РІ після зупинки відправляє дані в базу даних (малюнок 4.9), реалізовану в системі управління БД (СУБД) Microsoft Office Access 2007 через міст JDBC-ODBC (Java Database Connectivity - Open Database Connectivity).

Міст JDBC-ODBC - це драйвер JDBC, що виконує операції JDBC шляхом трансляції їх в операції ODBC. З точки зору ODBC - це звичайне додаток. Міст, таким чином, надає JDBC-інтерфейс до будь-яких СУБД, для яких доступний ODBC-драйвер. Міст реалізований у вигляді пакета `sun.jdbc.odbc` і містить бібліотеку (native library) для доступу до ODBC.



Tool_index	Tool_diameter	Speed_of_cut	Feed_per_tooth	Depth_of_cut	Workpiece_hardness	Estimated_h	Run_time	Operation_date
1	10	110	0.05	6	101	19.8	10 sec	13-Jun-2016 10:45:31
1	10	110	0.05	6	101	27.9	10 sec	13-Jun-2016 10:45:40
1	10	110	0.05	6	101	38.3	10 sec	13-Jun-2016 10:46:07
1	10	110	0.05	6	101	48.2	10 sec	13-Jun-2016 10:46:29

Малюнок 4.9 - База даних системи моніторингу стану РІ

Розроблена БД зберігає інформацію про інструменти, яка дозволяє чітко визначити коли, який, скільки часу і при яких режимах різання працював інструмент. Також база містить інформацію про оцінку радіального зносу ріжучого інструменту, яку система надає перед відключенням.

РОЗДІЛ 4. АВТОМАТИЧНЕ ОТРИМАННЯ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

Проблемою для отримання моделей ідентифікації та прогнозу в задачах діагностики стану РІ є «некоректність» поставленого завдання.

Завдання називається коректно поставленим (по Адамара), якщо виконуються три умови:

- 1) рішення існує;
- 2) рішення єдино;
- 3) завдання стійке за вхідними даними. Якщо хоча б одна з трьох умов порушується, то завдання називається некоректним (по Адамара).

Для реальної системи:

- спостережений процес $x(t)$ завжди відрізняється від досліджуваного процесу $\eta(t)$ через вплив приладів - реєструючих пристроїв (вимірювальний шум $v(t)$);
- існують невраховані зовнішні впливи $\mu(t)$ (так званий «Динамічний шум»), випадкові і / або невипадкові. Останні, в принципі, можна ввести в якості поправки в модель;
- модель не адекватно відображає властивості об'єкта («шуми незнання» $\Delta M(t)$).

Це пов'язано з її структурою або значеннями параметрів.

Широко поширений [14, 66] наступний варіант постановки і рішення некоректної задачі. Нехай при вхідних даних X існує рішення задачі Y .

Нехай дані X задані з похибками, позначимо такий «зашумлений вхід» X .

Суворого рішення при вхідних даних X завдання може і не мати. Тоді шукають величину $Z = \Phi(X)$, в деякому сенсі близьку до вирішення, і таку, що відображення Φ - безперервно, і $\Phi(X) \rightarrow Y$ при $X - X' \rightarrow 0$. Величину Z називають квазірішенням.

Постановки завдання моделювання з тимчасового ряду знімається також за рахунок додаткових припущень або апріорної інформації про структуру моделі (і відповідного вибору базисних функцій).

Існують також процедури, які забезпечують коректність постановки: побудова так званих регуляризуючих функціоналів [101,18].

Типовим прикладом останньої ситуації може служити задача апроксимації залежності однієї величини Y від іншої X на основі кінцевої «навчальної» вибірки. Досить легко підібрати криву, що проходить через кожен експериментальну точку на площині (X, Y) . Однак, в загальному випадку, існує безліч кривих, які відрізняються від обраної довільними осциляціями між точками. Всі вони доставляють мінімум емпіричної середньоквадратичної помилки апроксимації і в цьому сенсі є рівноправними рішеннями завдання. Число рішень можна зменшити, якщо накласти умову на величину межточечних осциляцій. Це як раз і робить регуляризуючий функціонал. Так що аналіз коректності завдання важливий: він допомагає вибрати ефективний спосіб її вирішення і, якщо потрібно, дещо змінити саму постановку.

4.1. Алгоритми параметричної ідентифікації моделей

Значення зносу інструменту успішно [80] ідентифікується з допомогою моделей виду: $h_z = f(V, s, t, G)$, отриманих в результаті повнофакторного експерименту.

Постановка завдання ідентифікації зносу інструменту

Дана вихідна матриця прецедентів, що містить вектори значень вхідних параметрів (режими обробки, сигнали, що містять інформацію про термоелектричному і деформаційному стані інструменту) $\chi(,,,) X_1 X_2 K X_n$ і відповідні їм $Y(,,,) Y_1 Y_2 K Y_m$ вектора вихідних параметрів (значення розміру

або інтенсивності зносу по задній / передній поверхні, глибина лунки зносу і т.д.)

де $n > k$. ідентифікувати параметри $K = \begin{bmatrix} k_{1,1} & \dots & k_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{m,1} & \dots & k_{m,n} \end{bmatrix}$ статичної моделі такого вигляду:

$$Y_m = C_m \cdot X_1^{K_{1,m}} \cdot X_2^{K_{2,m}} \dots X_n^{K_{n,m}},$$

де X_1, X_2, \dots, X_n - вхідні параметри;

C_m - експериментально визначається коефіцієнт;

$K_{1,m}, K_{2,m}, \dots, K_{n,m}$ - статичні коефіцієнти полінома, що описує функціональну залежність вихідних параметрів процесу механічної обробки від вхідних.

Алгоритмів знаходження коефіцієнтів для (3.5) в початковому вигляді немає.

Перетворимо вихідний поліном, прологарифмуємо ліву і праву частину, до виду:

$$\ln(Y_j) = \ln C_j + K_{1,j} \ln X_1 + K_{2,j} \ln X_2 \dots K_{n,j} \ln X_n, j = 1, 2, \dots, m$$

Ідентифікація коефіцієнтів отриманого рівняння запропонована в [23].

Після перетворення вихідного вираження система може бути описана наступною системою рівнянь:

$$\begin{aligned} z_1 &= k_{1,1}u_1 + \dots + k_{1,i}u_i + \dots + k_{1,n}u_n, \\ &\vdots \\ z_j &= k_{j,1}u_1 + \dots + k_{j,i}u_i + \dots + k_{j,n}u_n, \\ &\vdots \\ z_m &= k_{m,1}u_1 + \dots + k_{m,i}u_i + \dots + k_{m,n}u_n, \end{aligned}$$

або в векторній формі:

$$z = Ku,$$

$$z = (\ln(Y_1), \dots, \ln(Y_m))^T = (z_1, \dots, z_m)^T,$$

де $u = (1, \ln(X_1), \dots, \ln(X_n))^T = (u_1, \dots, u_n)^T,$

$$K = \begin{bmatrix} k_{1,1} & \dots & k_{1,n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ k_{m,1} & \dots & k_{m,n} \end{bmatrix}.$$

Найкращим в сенсі регресії за методом найменших квадратів оцінки і k параметрів k_i і $i \in \forall$ задовольняють співвідношенню

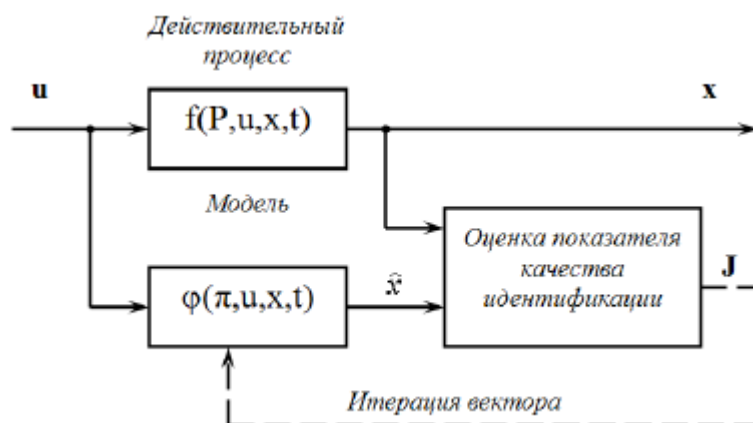
$$\hat{\mathbf{k}}_j = (\mathbf{U}^T \mathbf{U})^{-1} \cdot \mathbf{U}^T \cdot \mathbf{z}_j = (\hat{k}_{j,1}, \dots, \hat{k}_{j,n}),$$

де

$$\mathbf{U} = \begin{bmatrix} u_{1,1} & \dots & u_{1,n} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{j,1} & \dots & u_{j,n} \\ \vdots & & \vdots \\ u_{m,1} & \dots & u_{m,n} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{z}_j = \begin{bmatrix} z_{1,j} \\ \vdots \\ z_{i,j} \\ \vdots \\ z_{m,j} \end{bmatrix}$$

4.2. Структурна ідентифікація

Невірно обрана структура моделі призводить до серйозних погрешностей в оцінці параметрів. Вибір структури повинен ґрунтуватися на вимогах до точності і перевірятися за допомогою методів статистичного аналізу. але навіть коректно обрана структура моделі може виявитися неадекватною при зміні зовнішніх умов роботи. Зміна обладнання, оснащення, пристосування, конструктивних змін, номенклатури оброблюваних виробів може спричинити не тільки зміна параметрів системи, а й зміни самої структури моделі. З метою адаптованості системи діагностики до структурних змін проведемо дослідження механізму структурної ідентифікації. Для визначення моделі пропонується наступна схема ідентифікатора (рисунок 4.5).



Малюнок 4.5. Загальна схема ідентифікатора

Ця модель описується наступним різницеvim виразом:

$$\hat{\mathbf{x}}(k+1) = \psi[\pi, \mathbf{u}(k), \mathbf{x}(k), k],$$

де $\hat{\mathbf{x}}(k)$ - оцінка вектора \mathbf{x} при використанні моделі ψ з вектором оцінюваних параметрів π . Вид функції ψ повинен бути заданий, а компоненти вектора параметрів π не відомі.

Алгоритм ідентифікації проводиться за наступною схемою:

Крок 1. Вибрати вид апроксимуючої функції ψ найменшого порядку з бази даних, успішних на попередніх кроках.

Крок 2. Ідентифікувати вектор параметрів π обраної моделі.

Крок 3. Провести оцінку правдоподібності для прийнятого значення граничного відносного відхилення δ і часу обчислень:

$$J = \left[\frac{|\delta_{i,j}|}{\max(\delta_{1..n,1..n})} \right]^\alpha \cdot \left[\frac{t}{\max(t_{1..n,1..n})} \right]^\beta,$$

де α, β - коефіцієнти значущості. Вони можуть варіюватися в залежності від величини дефіциту машинного часу (зменшення β) або підвищення достовірності моделі (зменшення α).

Крок 4. Пошук здійснюється в околицях значень параметрів, прийнятих в якості оптимальних на попередньому кроці. Час пошуку обмежується провідним процесом вищого рівня. Модель, відповідна знайденому мінімуму функціоналу, приймається і записується в файл бази даних.

Якщо в базі даних відсутня інформація про успішні на попередніх кроках моделях, вони вибираються з раніше сформованого функціоналу.

Визначення виду апроксимирующего полінома з функціоналу (4.8) для поздовжнього точіння зробимо для експериментальних даних, представлених в таблиці 4.1, отриманих на основі тимчасових осцилограмм сигналів ТЕДС і ЕП КИД (додаток Б) при точінні EI698 різцем ВК8.

$$\Phi = \left\{ \begin{array}{l} Y_j = C_j + \sum_{i=1}^{N_j} \sum_{m=1}^{\mu_{i,j}} K_{m,i,j} \cdot X_i^m, j = 1..M \\ Y_j = e^{C_j} \cdot \prod_{i=1}^{N_j} \prod_{m=1}^{\mu_{i,j}} [X_i^m]^{K_{m,i,j}}, j = 1..M \\ Y_j = \ln C_j + \sum_{i=1}^{N_j} \sum_{m=1}^{\mu_{i,j}} K_{m,i,j} \cdot \ln(X_i^m), j = 1..M \\ y(k) = \sum_{j=0}^N \left(\sum_{m_1=1}^M \dots \sum_{m_l=1}^M g_i(m_1, \dots, m_l) x(k-m_1) \dots x(k-m_l) \right) \end{array} \right\}.$$

Таблиця 4.1. Аналіз експериментальних даних

V, м/мин	S, мм/об	t, мм	L, м	hз, мм	E, мВ	G, 1/Ом
20,00	0,10	0,50	0,00	0,01	18,20	160,82
20,00	0,10	0,50	23,75	0,80	21,75	180,00
30,00	0,10	0,50	0,00	0,01	20,65	165,55
30,00	0,10	0,50	20,67	0,21	21,00	150,00
30,00	0,10	0,50	44,30	0,40	22,00	170,00
30,00	0,10	0,50	67,92	0,56	22,00	180,00
40,00	0,10	0,50	0,00	0,01	23,11	170,28
40,00	0,10	0,50	26,58	0,38	25,00	180,00
40,00	0,10	0,50	50,08	0,48	27,50	175,00
50,00	0,10	0,50	0,00	0,01	25,56	175,01
50,00	0,10	0,50	29,37	0,28	26,00	190,00
50,00	0,10	0,50	52,87	0,32	27,50	200,00
50,00	0,10	0,50	70,50	0,34	29,00	195,00
50,00	0,10	0,50	93,87	0,47	29,50	210,00
50,00	0,10	0,50	117,24	0,59	30,30	215,00
60,00	0,10	0,50	0,00	0,01	28,01	179,74
60,00	0,10	0,50	23,37	0,10	29,50	186,00
60,00	0,10	0,50	52,59	0,38	31,00	194,00
60,00	0,10	0,50	78,89	0,56	32,00	197,00
70,00	0,10	0,50	0,00	0,01	30,47	184,47
70,00	0,10	0,50	11,62	0,17	29,00	174,00
70,00	0,10	0,50	34,87	0,31	31,00	185,00
70,00	0,10	0,50	58,12	0,45	32,50	190,00
70,00	0,10	0,50	81,37	1,02	34,00	200,00

4.3. Оптимізація структури моделі

Підсумкова модель з многочленом порядку К обов'язково містить всі складові до порядку К включно. Але неважко уявити ситуацію, коли деякі з проміжних ступенів зайві і їх краще б виключити з моделі. Цей недолік виникає через те, що складові додаються в модель в наперед заданому порядку. У загальному випадку потрібно розробляти методи пошуку оптимальної моделі розміру Р, де розглядаються різноманітні комбінації Р функцій-доданків з більш широкого безлічі Ртах функцій. Так як система базисних функцій ортогональна

на безлічі спостережень, то оптимізація може бути досягнута шляхом прямого перебору всіх комбінацій.

Пошук оптимальної комбінації функцій-доданків називають оптимізацією структури моделі.

Алгоритм пошуку оптимального порядку апроксимує полінома полягає в оцінці показника якості ідентифікації J (4.7). Проілюструємо роботу даного алгоритму на базовій функції R2.

Запропоновано апроксимація поліномом виду:

$$Y = C + K_{1,1} \cdot X_1 + K_{2,1} \cdot X_1^2 + \dots + K_{\mu_1,1} \cdot X_1^{\mu_1} + K_{1,2} \cdot X_2 + K_{2,2} \cdot X_2^2 + \dots \\ \dots + K_{\mu_2,2} \cdot X_2^{\mu_2} + K_{1,N} \cdot X_N + K_{2,N} \cdot X_N^2 + \dots + K_{\mu_N,N} \cdot X_N^{\mu_N},$$

де Y - значення вихідного параметра,

X1, X2, XN - вхідні параметри;

N - число вхідних параметрів;

Ki, j - i-й параметр j-го вхідного аргументу; j = 1..N, i = 1..μi;

μi - порядок поліноміальної залежності, індивідуальний для різних вхідних параметрів.

Перепишемо рівняння (4.9) в наступному вигляді:

$$Y = C + \sum_{i=1}^N \sum_{w=1}^{\mu_i} K_{w,i} \cdot X_i^w,$$

Для ідентифікації M вихідних параметрів рівняння (4.10) легко перетворити до наступного вигляду:

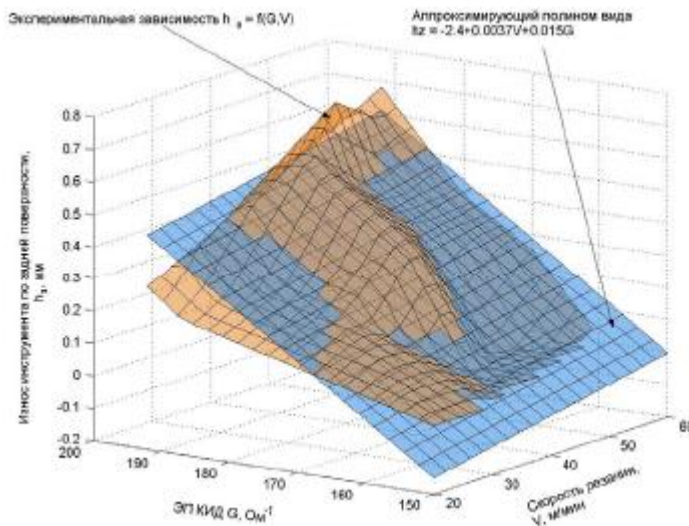
$$Y_j = C_j + \sum_{i=1}^{N_i} \sum_{w=1}^{\mu_{i,j}} K_{w,i,j} \cdot X_i^w, j=1..M$$

Оцінку параметрів можна отримати за формулою (4.5), де

$$U = \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,1}^2 & \dots & X_{1,1}^{\mu_{1,1}} & X_{1,2} & X_{1,2}^2 & \dots & X_{1,2}^{\mu_{1,2}} & \dots & X_{1,N} & X_{1,N}^2 & \dots & X_{1,N}^{\mu_{1,N}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{r,1} & X_{r,1}^2 & \dots & X_{r,1}^{\mu_{r,1}} & X_{r,2} & X_{r,2}^2 & \dots & X_{r,2}^{\mu_{r,2}} & \dots & X_{r,N} & X_{r,N}^2 & \dots & X_{r,N}^{\mu_{r,N}} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{R,1} & X_{R,1}^2 & \dots & X_{R,1}^{\mu_{R,1}} & X_{R,2} & X_{R,2}^2 & \dots & X_{R,2}^{\mu_{R,2}} & \dots & X_{R,N} & X_{R,N}^2 & \dots & X_{R,N}^{\mu_{R,N}} \end{bmatrix}$$

Самоорганізація моделей

Подальші дослідження показали, що максимум функції нев'язки між експериментальними даними і апроксимуючими функціями виявляється поблизу оптимальної швидкості різання (Малюнок 4.9). істотна нелінійність функції $h_3 = f(V, s, t, G)$, не дозволяє зробити апроксимацію задовільної точності (менше 5%) в запропонованому (3.12) функціонал.



Малюнок 4.9. Експериментальна і апроксимуюча поверхні функції $h_3 = f(G, V)$. Поздовжнє гостріння сплаву EI698 різцем BK8, $t = 0,5$ мм, $s = 0,1$ мм / об

Відповідно до теорії організації експерименту і принципам вилучення корисної інформації з даних, в кінцевому підсумку інтелектуальна обробка експериментальних даних зводиться до необхідності вирішення найбільш загальної завдання - вибору однієї з набору можливих гіпотез про модель досліджуваного об'єкта або явища і оцінювання параметрів цієї моделі. У літературі зустрічаються рішення, засновані на теорії штучних нейронних мереж [10], але крім проблеми вибору структури і обсягу навчальної вибірки, основний недолік такого підходу полягає у відсутності гарантій структурної стійкості отриманої моделі.

Для підвищення точності прогностичних властивостей моделі в літературних джерелах [43] пропонується ввести аддитивну складову до отриманого апроксимується поліному, отриману шляхом апроксимації функції нев'язки.

Оцінку показника якості ідентифікації зробимо за запропонованою вище методикою. Кількість функцій в досліджуваному функціонал визначається за формулою:

$$N_{\Psi} = N_{\text{баз}} (1 + n_{\text{вар}}^m),$$

де m - кількість вхідних параметрів;

$N_{\text{баз}}$ - розмірність функціоналу базових функцій;

$N_{\text{вар}}$ - розмірність функціоналу змінних функцій.

Оцінка значущості коефіцієнтів моделі

Для спрощення отриманої моделі перевіряють значущість її коефіцієнтів.

Її виконують для кожного коефіцієнта окремо. оцінка значущості коефіцієнтів проводиться за критерієм Стюдента, або з довірчого інтервалу, який при використанні факторного експерименту однаковий для всіх коефіцієнтів.

Критерій Стюдента

$$t_j = \frac{|a_j|}{\sigma_{aj}}, j = 0, 1, 2, \dots,$$

де a_j - j -й коефіцієнт рівняння регресії;

σ_{aj} - середнє квадратичне відхилення коефіцієнта j а.

Діагональні елементи ковариационной матриці () -1

$X^T X$ рівні між собою, тому всі коефіцієнти рівняння регресії визначаються з однаковою точністю:

$$\sigma_{aj} = \sqrt{\sigma_{aj}^2} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{всспр}}^2}{N}},$$

де 2σ відтв - дисперсія відтворюваності.

Дисперсія відтворюваності, як правило, визначається за допомогою повторних дослідів в нульовій точці (центрі експерименту):

$$\sigma_{\text{всспр}}^2 = \frac{S_{\text{всспр}}}{f_{\text{всспр}}} = \frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (y_i^0 - \bar{y}^0)^2,$$

де m - число повторних дослідів;

відтв $f = m-1$ - число ступенів свободи дисперсії відтворюваності;

$S_{\text{всспр}}$ - залишкова сума квадратів відтворюваності.

$$\bar{y}^0 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i^0,$$

4.4. Перевірка адекватності моделі

Отриману модель об'єкта необхідно перевірити на адекватність. Це здійснюється за допомогою критерію Фішера (при наявності ступенів свободи):

$$F = \sigma_1^2 / \sigma_2^2,$$

де σ_1^2, σ_2^2 - дисперсії двох незалежних вибірок.

При розрахунку F - критерію в чисельник ставлять велику з двох емпіричних дисперсій, тому $F \geq 1$. Критерій Фішера показує значимо чи відрізняються один від одного ці дисперсії.

F - критерій формують в такий спосіб:

$$F = \begin{cases} \sigma_{ад}^2 / \sigma_{воспр}^2, & \text{если } \sigma_{ад}^2 \geq \sigma_{воспр}^2; \\ \sigma_{воспр}^2 / \sigma_{ад}^2, & \text{если } \sigma_{ад}^2 < \sigma_{воспр}^2; \end{cases}$$

де $\sigma_{ад}^2$ - дисперсія адекватності (залишкова дисперсія).

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Зміст ідеї: створення інноваційної організації, яка буде займатись розрахунком оптимальних параметрів режимів обробки деталей при точінні.

Переваги для покупців: підвищення продуктивності процесу, підвищення параметрів мікроекономіки підприємства, поліпшення якості продукції без необхідності повного залучення штатних працівників та здійснення інноваційної діяльності.

Далі ми аналізуємо потенційні технічні та економічні переваги ідеї порівняно з пропозиціями конкурентів:

- визначимо перелік техніко-економічних характеристик та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або продуктів-замінників чи продуктів аналогів, що вже присутні на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів у відповідності до вказаного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл.. 5.1) [39].

Таблиця 5.1 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко економічні характерис тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабк а сторо на)	N (нейтрал ьна сторона)	S (силь на сторо на)
		Мій проект	Sand wik	Промви тех	Алько нт			
1.	Торгівельн	немає	є	є	є	+		

	а марка							
2.	Точність проведення розрахунків	Висок а	Висок а	Середня	Серед ня			+
3.	Патенти на продукти	немає	є	є	є	+		
4.	Економічність	Серед ня ціна	Висок а ціна	Висока ціна	Висок а ціна			+

Отже, провівши дані порівняння ми бачимо, що за рахунок точності проведення розрахунків та низької собівартості мій проект має певну перевагу над продуктами аналогами в певних компонентах та є нейтральним у інших.

5.2 Проведення аналізу ринкових можливостей проекту

В даному розділі визначимо ринкові можливості, які можуть бути використані під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть слугувати як перешкоди його реалізації.

Це робить можливість зробити план напрямків розвитку проекту, враховуючи стан ринкового середовища, потреб можливих потенційних клієнтів, а також пропозицій конкурентів.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл.. 5.2) [39].

Таблиця 5.2. Характеристика потенційного ринку

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція вітчизняних та зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	35,2%

Оцінка потенційного ринку стартап-проекту показала, що умови для входу на ринок є сприятливими, але на ринку наявні конкурентоздатні фірми, які вже давно на ньому перебувають та успішно реалізують свою продукцію, але за рахунок переваг над ними наш продукт буде конкурентоспроможним.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл.. 5.3) [39].

Таблиця 5.3. Характеристика потенційних клієнтів даного проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія(цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Повна автоматизація процесу обробки деталей	Приладобудівні, машинобудівні, авіа та ракетобудівні підприємства	Обсяги виробництва	Висока точність, невисока ціна

Під час використання даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій потрібно якісне обладнання, а також виконувати дані роботи повинні висококваліфіковані фахівці. Також,

повинно бути своєчасне технічне обслуговування даного продукту (табл.. 5.4.) [39].

Таблиця 5.4 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Конкуренція	Необхідність даної області спричиняє появу багатьох фірм у цій області	Наявність переваг перед конкурентами, на які буде звертати увагу покупець
2	Відсутність попиту на продукцію	Не бажання споживачів переходити на нову технологію через те, що вона є дорогою	Реклама з наведенням аргументів на користь своєї продукції. Аргументація даної роботи як засобу збільшення серійності виробництва та зменшення кількості браку, що призведе до збільшення доходу підприємства
3	Інфляція	Зміна курсу гривні, за рахунок чого можуть зменшитись продажі	Реалізація продукту в більш стабільній(іноземній) валюті та моніторинг економічної ситуації в країні
4	Старіння	Високі темпи модернізації продукції	Моніторинг трендів, постійне доопрацювання до вимог клієнтів

5	Кадри	Необхідні висококваліфіковані кадри	Навчання та екзаменування кадрів
---	-------	---	-------------------------------------

В таблиці 5.5. ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, та вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 5.5 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Попит на якісний та точний продукт	Потреба покращення якості продукції, зменшення браку	По можливості постійна модернізація продукту, розробка нових ідей
2	Створення нової роздрібної мережі в Україні та Європі	Розширити можливості збуту своїх послуг	Зробити акцент на точності, якості та відносній недорогоговизні продукту
3	Економічні	Політика протекціонізму, підтримка інноваційного виробництва	Підвищення/пониження ціни на продукт, зменшення додаткового тиску
4	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадити технологію і змінити вартість товару
5	Можливість стати монополістом	За рахунок переваг над конкурентами є можливість захопити ринок даної продукції	Постійний розвиток та робота над вдосконаленням проекту

Отже, зробивши аналіз ринку можемо сказати, що серед усіх наявних загроз найбільшою є дуже висока конкуренція, щоб надавати свої послуги.

Надалі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл.. 5.6) [39].

Таблиця 5.6. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути конкурентно спроможною)
Олігополія	В галузі домінує декілька конкуруючих фірм	Виготовлення конкурентно спроможного товару
Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Реклама, проведення роботи щодо організації збуту на іншому ринку
Внутрішньогалузева	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють одну потребу	Виготовлення товару схожого по ряду характеристик, та кращого за декількома
Товарно-видова	Конкуренція між товарами одного виду та призначення	Розробка вдосконалених товарів
Цінова	Використання ціни як кращих умов збуту	Підвищення якості продукту
Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за	Створення власної марки

	готовий продукт	
--	-----------------	--

В даній таблиці ми провели аналіз ринку збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності (табл.. 5.7) [39].

Таблиця 5.7. Обґрунтування факторів конкурентоздатності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Якість	Отримання достовірних результатів
2	Точність	Точність дослідження зношування вища ніж у конкурентів
3	Своєчасність реакції	Своєчасна реакція на виявлення зношення і коректування режимів різання згідно цієї інформації
4	Ціновий	Нижча ціна порівняно з конкурентами

В умовах високої конкуренції на ринку, основними є фактори якості, точності та ціни, які повинні бути на рівні, або ж рівнем вище, ніж у конкурентів, що зумовить успішний вихід на ринок та підвищить його конкурентоздатність.

Завершальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл.. 5.8) [39].

Таблиця 5.8 SWOT-аналіз проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вища точність виявлення зношення; - ціна нижча, ніж у конкурентів; - оперативне реагування на зношення інструменту; - новизна технології; 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - великий асортимент товарів на ринку; - продукт який ще не зарекомендував себе на ринку; - немає торгової марки.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - попит на якісний та точний продукт; - можливість створення роздрібної мережі в Україні та Європі; - можливість стати монополістом; - зміна технологій; - підтримка інновації. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - конкуренція; - неготовність прийняти дану систему, через вже наявні звички; - інфляція; - старіння продукції з часом; - немає кадрів

На основі проведення SWOT-аналізу виявлено, що за рахунок сильних сторін продукт буде конкурентоспроможним на ринку.

5.3Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим етапом передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.. 5.9) [39].

Таблиця 5.9. Групи потенційних споживачів

№ n/n	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Державні підприємства	Готові	Середній попит	Висока	Середня
2	Приватні підприємства	Готові	Високий попит	Висока	Складна
3	НДІ	Готові	Низький попит	Низька	Просто
Які цільові групи обрано: Державні та приватні підприємства. Хоч конкуренція в цих сегментах висока та вхід до цих сегментів складний, все ж прибуток та кількість замовлень у даних сегментах планується набагато вищою ніж в сегменті НДІ. Використовується стратегія диференційованого маркетингу.					

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл.. 5.10.) [39].

Таблиця 5.10. Визначення базової стратегії розвитку

№ n/n	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Стратегія спеціалізації	Стратегія ексклюзивного розподілу, налагодження зв'язку з клієнтом	Висока якість, краща точність діагностики, малий час на реагування, нижча ціна	Стратегія диференціації

Таким чином, базовою є стратегія диференціації, тобто зорієнтованості на користувача та задоволенні його потреб шляхом покращення характеристик товару в порівнянні з конкурентами, альтернативою є стратегія спеціалізації, тобто у разі провалу стратегії диференціації за основу буде прийнятий один цільовий сегмент та його потреби.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл.. 5.11) [39].

Таблиця 5.11. Визначення стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>
1	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Деякі характеристики будуть скопійовані, але не найважливіші	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляється стратегія позиціонування, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проекти (табл.. 5.12.) [39].

Таблиця 5.12. Вибір стратегії позиціонування

<i>№ п/п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні і позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Висока якість, точність, низька ціна, швидке реагування на зношення	Стратегія диференціа ції	Краща точність, швидке реагування на зношення, нижча ціна	Швидке реагування Точність Менша ціна в порівнянні з конкурентами

5.4 Розробка маркетингової програми

Таблиця 5.13. Визначення основних переваг потенційного товару

<i>№ п/п</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами</i>
1	Висока якість	Висока якість	Якість розрахунків знаходиться на високому рівні
2	Висока точність	Краща точність	Точність більша ніж у конкурентів

3	Реагування на знос	Оперативне реагування	Миттєве реагування на зношення і корекція режимів
4	Невисока ціна	Невисока ціна	Найнища ціна порівняно з конкурентами

Таблиця 5.14. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</i>	<i>Ключові позиції, обрані для позиціонування</i>	<i>Завдання рекламного повідомлення</i>	<i>Концепція рекламного звернення</i>
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною, за доступною ціною і гарною якістю	Інтернет ресурси, каталоги інструментів, виставки, рекламні статті, презентації виробників	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Плановірність і послідовність при прийнятті рішень.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника	Найвища точність та своєчасно зміна режимів різання при зношенні інструменту

Висновки до розділу:

Отже, розглянутий стартап-проект має як свої переваги так і недоліки. Для того щоб ввести проект на ринок було визначено, що даний проект має багато напрямків використання. Також він надасть значні вигоди для покупця, а саме: збільшення працездатності різців за рахунок того, що будуть підібрані оптимальні режими обробки; не дорога вартість надання послуг в порівнянні з конкурентами. Також нами було проведено порівняння нашого проекту з конкурентними і визначено його переваги і недоліки в даному аспекті. Переваг як ми бачимо є більше, тому можна говорити, що даний проект є конкурентоспроможний, а ідея його втілення актуальною.

Було проведено аналіз ринку, визначено його потреби і напрями за якими буде слідувати наша компанія, щоб реалізувати продукцію. Ми визначили, що основний напрям ми зробимо на машинобудівні, приладобудівні та авіобудівні підприємства. За рахунок того,що наш продукт володіє високою точністю, якістю, невисокою ціною будуть виконані потреби споживачів, тому ми маємо можливість успішно вийти на ринок.

ВИСНОВКИ

1. Удосконалено методику ідентифікації зносу РІ по сигналу віброакустичної емісії шляхом оцінки енергії спектра, що деталізують коефіцієнтів вейвлет-перетворення. Удосконалення методики підвищило інваріантність оцінки зносу до режимів механообробки.

2. Розроблено методику корекції моделі зносу РІ по відносній електропровідності контакту «інструмент-деталь», яка полягає в ідентифікації моменту настання катастрофічного зносу РІ по енергетичного спектру деталізують коефіцієнтів вейвлет-перетворення сигналу ВАЕ, лінійної інтерполяції функції $h_z(t)$ в зоні нормального зносу і корекції моделі на основі даної інформації. Синтез методів контролю на основі електричних і віброакустичних сигналів дозволив підвищити точність і забезпечити універсальність оцінки поточного зносу РІ.

3. Розроблено алгоритм прогнозування діагностичних параметрів процесу різання і зносу РІ, на основі наявних апріорних і емпіричних даних, який враховує нелінійність функції зносу РІ в часі і варіацію стійкості інструментів в партії. Алгоритм полягає в корекції оцінки базової моделі, за результатами поточних вимірювань, шляхом додавання адитивної складової отриманої на основі екстраполяції функції нев'язки, що дозволяє: знизити витрати на інструментальний матеріал; провести оцінку залишився ресурсу інструменту, перед початком обробки нової заготовки; ввести оптимальне управління станом ріжучого інструменту.

4. Розроблено базу даних діагностичних параметрів процесу різання, особливість якої полягає в векторно-матричному поданні вхідних аргументів, що дозволило уніфікувати і систематизувати моделі ПР з літературних джерел, включаючи частотно-часові і багатовимірні моделі.

5. Розроблено цифрова інформаційно-вимірювальна система, яка дозволяє зберегти всі виміряні діагностичні параметри процесу різання, провести аналіз (фільтрацію, децимації, спектральний і вейвлет-аналіз) і т.д.,

і відтворити сигнали, отримані від датчиків, що усуває необхідність в повторних реальних експериментах. Створений в середовищі програмування віртуальний процес повністю емітує умови протікання фізичного процесу з усіма його особливостями (нестационарністю, стохастичністю і т.д.).

Отримані результати в сукупності вдосконалюють методи моніторингу і прогнозу зносу РІ і вирішують важливу науково-практичну задачу спостережливості та прогнозованості зносу РІ в процесі різання, що в підсумку відкриває можливості управління процесом механічної обробки по стану ріжучого інструменту.

1. Представлена структура і принципи функціонування блоку «Інструмент» інтелектуального модуля e-Mind Machine багатоопераційного верстата. Системна архітектура інтелектуального керуючого модуля eMM передбачає використання системи знань як основи інтелектуальної платформи, яка, в свою чергу, включає в себе сукупність блоків, що охоплюють основні галузі функціонування багатоопераційних верстатів на виробництві. У число блоків входять: «Процес обробки», «Інструмент», «Стан верстата», «Заготівля-деталь», «Інформаційний обмін ». Описані сукупність вузлів блоку «Інструмент», функції яких починаються від збору і зберігання вихідної інформації по використовуваних інструментах і закінчуються діагностикою їх стану. Структура системи знань модуля e-MM передбачає зв'язку між e-Mind Machine і УЧПУ верстата, можливість використання прийнятих інтелектуальною системою управління рішень для складання або корекції керуючої програми, а також поповнення баз даних і знань.

Зовнішня структура блоку «Інструмент» модуля e-MM. Структура включає в себе вузли: реєструючий; адаптації та спеціальних режимів різання; моніторингу стану інструменту; управління діагностичними пристроями; спостережень і управління; інформаційний. Представлено

призначення вузлів, сформовані сукупності даних і знань, необхідних для функціонування вузлів в складі блоку «Інструмент».

Для вирішення завдань управління станом інструментів введені поняття нечітких кордонів стійкості, а також ширини прикордонної смуги, відображають наступ розглянутого виду зносу. Дані поняття становлять найбільший інтерес для наукового середовища інструментальників, оскільки безпосередньо пов'язані з питаннями автоматизованої оцінки працездатності різального інструменту і управління його станом при роботі багатоопераційних верстатів з ЧПУ в режимі «безлюдній технології».

Наведено типові ситуації, які можуть виникнути при визначенні нечітких кордонів стійкості інструменту в процесі експлуатації. Для кожної ситуації запропоновані методи оцінки параметрів нечіткої смуги стійкості інструменту. У перелік методів входить оцінка параметрів нечіткої смуги: на основі статистичної обробки даних; на базі прискорених випробувань; на основі використання методології штучного інтелекту; за допомогою методу контрольних карт.

2. Система моніторингу стану інструменту, стан якого впливає на розмірну точність обробки, використовує алгоритм вилучення вектора властивостей, систему нечіткого логічного висновку та інформацію про параметри різання для оцінки радіального зносу. Модель системи діагностики орієнтована на визначення прикордонних значень стійкості T_a й T_b нечіткої смуги за допомогою знаходження величини статистичних оцінок математичного розподілу розмірного зносу інструменту і середньоквадратическая відхилень в моменти часу роботи РІ істотно менше, ніж час критичного зносу.

3. Практична реалізація розробленої системи включає в себе два типи верстатних випробувань - об'ємний і прискорений; реалізований метод діагностики стану РІ на базі нейро-нечіткої мережі, який реалізує уявлення вхідних змінних і виведення в відносних одиницях; введена модифікація

контрольних карт, що передбачає наочну оцінку близькості статистичних значень зносу інструменту до допустимого значення стійкості. Встановлено вид розподілу значень стійкості по допустимій величині зношування ножа. Близькість отриманого распределенія до нормальному доведена за допомогою перевірки по асиметрії і ексцесу.

Встановлено середнє значення часу стійкості інструменту при імпульсованій методу прискорених іпитаній, передуматривающего використання граничних значень режимів різання.

База правил нечіткого прогнозування зносостійкості РІ в якості вхідних змінних використовує відносні значення швидкості різання, подачі на зуб і поверхневої твердості заготовки до відповідних середніх значень в діапазонах, зазначених раніше. В якості вихідної - коефіцієнт корекції часу стійкості. Нейронна мережа включає проміжний шар з 12 нейронами (відповідно до нечіткими правилами виводу) і один вихід.

Коефіцієнт корекції, з урахуванням значення якого визначається прогнозоване значення стійкості РІ, і співвідношення вхідних параметрів прийняті на основі експертних висновків і відповідно до даних каталогів інструментальних фірм. Визначено значення, відповідні граничних значень швидкості різання, подачі і поверхневої твердості заготовки.

4. Математичні залежності характеристик зношування інструменту дозволяють прогнозувати параметри нечітких прикордонних смуг для оцінки та управління процесами обробки; ефективність методу підтверджена проведеними випробуваннями;

5. Структура системи ідентифікації стану інструменту, заснована на аналізі сигналів віброакустической емісії. Система моделює нелінійну залежність радіального зносу інструменту від значень кепстральних коефіцієнтів і основних варійованих факторів режиму обробки.

«Гребінка» mel-фільтрів відображає розкладання спектральної щільності потужності сигналу акустичної емісії по mel-шкалою. Кожен

mel-фільтр дозволяє зробити оцінку енергії спектра на певному діапазоні частот, тим самим отримуючи mel-коефіцієнт.

6. Встановлено відповідність значень кепстральних коефіцієнтів до значенням радіального зносу ріжучого інструменту. Це здійснено з використанням адаптивної нейро-нечіткої системи виведення ANFIS. Система моніторингу стану інструменту після зупинки відправляє дані в базу даних. БД реалізована в СУБД Microsoft Office Access 2007 через міст JDBC-ODBC (Java Database Connectivity - Open Database Connectivity), є драйвером JDBC, який виконує операції JDBC шляхом трансляції їх в операції ODBC. Міст надає JDBC-інтерфейс до будь-яких СУБД, для яких доступний ODBC-драйвер. Міст реалізований у вигляді програмного пакету і містить бібліотеку для доступу до ODBC.

База даних зберігає інформацію про інструменти, яка дозволяє визначити коли, який, скільки часу і при яких режимах різання працював інструмент. БД також містить інформацію про оцінку радіального зносу ріжучого інструменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

1. А.С. 494656 СССР, М.Кл.G01N3/58. Способ определения момента затупления режущего инструмента /О. В. Кретинин, А. В. Денисенко, А. П. Елепн (СССР)//Открытия. Изобретения. – 1975. №45.
2. Авиационные материалы. Справочник в 5 т. /Под редакцией А. Т.Туманова. М.: ОНТИ, 1975.-Т.1. Конструкционные стали, 1975. – 358 с.
3. Авиационные материалы. Справочник в 5 т./Под редакцией А.Т.Туманова. М.:ОНТИ, 1975.-Т.2 Коррозионностойкие и жаростойкие стали и сплавы, 1975. – 358 с.
4. Адаптивное управление металлорежущими станками //Обзор НИИМаш. Серия С-1/ Г. В. Бронштейн, М. С. Городецкий, Е. Р. Гордон и др. – М.:ЭНИМС, 1973. – 227с.
5. Адаптивное управление технологическими процессами Ю. М. Соломенцев, В. Г. Митрафанов, Ф. П. Протопопов и др. – М.: Машиностроение, 1980. – 536с.
6. Адаптивные фильтры: пер. с англ./Под ред. К. Ф. Н. Коуэна и П. М. Гранта. – М.: Мир, 1988.
7. Армарего И. Дж.А., Браун Р. Х. Обработка металлов резанием /Пер. с англ. В. А.Патунова. – М.:Машиностроение, 1977. – 325 с.
8. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения //Успехи физических наук, 1996. Т. 166, № 11. С. 1145 – 1170.
9. Багряцкий Ю. А., Тяпкин Ю. Д. Рентгенографическое изучение старения сплавов на никелевой основе //Проблемы металловедения и физики металлов, 1958, вып.5. – С.241-265.
10. Балакин А. Ю., Нгуен Хай-Винь, Шкодырев В. П. Интеллектуальные измерительные системы: информационно-аналитический подход к теории самоорганизации адаптивных моделей обработки данных. Труды международной конференции «Датчики и Системы» 2002.

11. Барзов А. А., Горелов В. А., Игонькин Б. А. Акустоэлектрическая диагностика процесса резания полимерных композиционных материалов. – Авиационная промышленность, 1986, №12 – С. 36-37.
12. Барзов А. А., Денчик А. И. Диагностика технологической наследственности методом акустической эмиссии. – Обработка резанием, 1983, №4 - С.1-5.
13. Барков А. В., Баркова Н. А. Интеллектуальные системы мониторинга и диагностики машин по вибрации <http://www.vibrotek.com/russian/articles/ref.htm>
14. Безручко Б. П., Смирнов Д. А. Математическое моделирование и хаотические временные ряды. Саратов: ГосУНЦ «Колледж», 2005. 320 с.
15. Безручко Б. П., Смирнов Д. А. Статистическое моделирование по временным рядам: учебно-методическое пособие. – Саратов: «Колледж», 2000. – 23 с.
16. Биленко С. В. Повышение эффективности высокоскоростной механической обработки на основе подходов нелинейной динамики и нейросетевого моделирования.: автореф. дис. ... д-ра техн. наук (05.03.01). – Комсомольск-наАмуре, 2006. – 47с.
17. Браверман Э. М., Мучник И. Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. – М.:Наука, 1983. – 464с.
18. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным. – М.:Наука, 1979. 448 с.
19. Глазунов Л. П., Смирнов А. Н. Проектирование технических систем диагностирования.– М.:Наука, 1986.
20. Гончарова С. Г. Интеллектуальная система управления процесса механообработки с оперативным использованием нечеткой нейросетевой модели знаний. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. по спец. 05.03.01, Уфа-2001

21. Горбунов С. С. Нейросетевое моделирование контактных процессов при резании по сигналам термоЭДС и акустической эмиссии, автореф. дисс. ... канд. техн. наук по специальности 05.03.01, Нижний Новгород, 2004.
22. Грановский Г. И., Грановский В. Г. Резание металлов. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
23. Гроп Д. Методы идентификации систем: Пер. с англ./Под ред. Е. И Кринецкого. – М.: Мир, 1979.
24. Даниелян А. М. Теплота и износ инструментов в процессе резания металлов. Машгиз, 1954.
25. Даниелян А. М., Бобровский В. А. Температура при резании металлов и способы ее измерения. – М.: Машгиз., 1954.
26. Деревянченко А. Г. Алгоритмы автоматического контроля износа лезвий инструментов в гибких производственных системах. – Металлорежущие станки 1985, №13, С.37 – 46.
27. Диагностика автоматических станочных модулей /Под ред. Б. М. Бржозовского. – Саратов.: Изд-во Саратов.ун-та, 1987.–152с.
28. Дилатонный механизм прочности твердых тел. С. Н. Журков // Физика прочности и пластичности. – Л.: Наука, 1986. – С.5-11.
29. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. Пер. с англ. — Ижевск, НИЦ регулярная и хаотическая динамика, 2001.
30. Дьяконов В. П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.:СОЛОН-Пресс, 2004. – 400 с.
31. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB6.5 SP1/7/7 SP1/7 SP2 + Siulink 5/6. Инструменты искусственного интеллекта и биоинформатики. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 456 с.
32. Жуков А.И. Метод Фурье в вычислительной математике. – М.: Наука. Физматлит. – 1992.
33. Журавлев В. Н. Николаева В. И. Машиностроительные стали: Справочник. – М.: Машиностроение, 1992. – 480с.

34. Заковоротный В. Л., Борачев Е. В. Информационное обеспечение системы динамической диагностики износа режущего инструмента на примере токарной обработки // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1995. -№3. –С.118- 133.

35. Заковоротный В. Л., Лукьянов А. Д., Волошин Д. А., Флек М. Б. Моделирование процесса изнашивания инструмента с помощью интегральных операторов//СТИН.- 2004. - №3. С.9-14.

36. Зорев Н. Н и др. О процессе износа твердосплавного инструмента. – Вестник машиностроения, 1971. №9.-С. 70-71

37. Зорев Н. Н. Расчет проекций силы резания. – М.: Машгиз, 1958. – 56с.

38. Зориктуев В. Ц. Идентификация и автоматическое управление температурносиловым режимом обработки резанием труднообрабатываемых материалов по термоЭДС и электропроводимости контакта "инструмент-деталь" в условиях автоматизированного производства: Дис.док.техн.наук. Уфа, 1988. 416с.

39. Зориктуев В. Ц. Идентификация и оптимальное управление автоматизированными технологическими системами: учеб. пособие. – Уфа: УАИ 1992, 118с.

40. Зориктуев В. Ц., Латыпов Р. Р., Постнов В. В., Никин А. Д. Диагностика состояния режущего инструмента в автоматизированном производстве: учеб. пособие. – Уфа: УГАТУ, 1994. – 58с

41. Зориктуев В. Ц., Постнов В. В., Шустер Л. Ш., Дерябин С. А. Режимы лезвийной обработки деталей ГТД: учеб. пособие. – Уфа: УГАТУ, 1991.

42. Зориктуев В. Ц., Хузин И. С. Электропроводимость контакта «инструментдеталь» – физический и информационный параметр в станочных системах. – М.:Машиностроение, 1998. – 176с.

43. Ивахненко А. Г., Юрачковский Ю. П. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. – М. Радио и связь, 1987.
44. Иглин С. П. Математические расчеты на базе MATLAB.- СПб.:БХВПетербург, 2005. – 640 с.
45. Ильин А. Н. – Разработка системы оперативной диагностики режущего инструмента по электрическим параметрам процесса резания// Диссертация на соискание уч.ст.к.т.н, Уфа 2000г.
46. Исаев Ш. Г. Разработка системы автоматического управления силами резания по электрической проводимости контакта «инструмент-деталь». Дис.... канд. техн. наук. Уфа, 1987.
47. Кабалдин Ю. Г., Шпилев А. М., Просолович А. А. Синергетический анализ причин возмущения вибраций при резании // Вестник машиностроения. 1997. №10. С. 21 – 29.
48. Кадыров Ж. Н. Диагностика и адаптация станочного оборудования гибких производственных систем. – Л.: Политехника, 1991.-144с.
49. Калашников М. А. Разработка и исследование переменнo-частотного метода электрических измерений параметров поверхностных слоев металлических изделий: Автореферат дисс.ст. канд. техн. наук (05.246). - Н.: Новочеркасский политехнический институт, 1974. – 24 с.
50. Калиткин Н. Н. Численные методы. – М.: Наука, 1978.
51. Кацев П. К. Статистические методы исследования ри. – М.Машиностроение, 1968 .– 156с
52. Каширин А. И. Исследование вибраций при резании. – М.;Л.: Изд-во АН СССР. 1944. 184с.
53. Кибальченко А. В. Контроль состояния режущего инструмента обзорная информация, Выпуск 2 .– М.: ВНИИТЭМР, 1986.
54. Козочкин М. П. Исследование и разработка системы защиты режущего инструмента от поломок в токарных станках с ЧПУ: автореф. дис. ... канд. техн. наук (05.169). – М.:1975. – 25 с.

55. Контроль поломки износа режущего инструмента /Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Серия 2. Режущие инструменты, Вып.15. – М.:1987. – С. 1-5.

56. Коуров Г. Н., Кичко Ю. М., Зубарев И. Идентификация температуры резания в САУ процесса точения на токарном станке /Сб. науч. трудов: Интеллектуальные мехатронные станочные системы. – Уфа, 2003.

57. Кравцов Ю. А. Случайность, детерминированность, предсказуемость //Успехи физических наук, 1989. Т. 158, № 1. С. 93 – 115.

58. Кретинин О. В. и др. К вопросу получения оперативной оценки параметров изнашивания быстрорежущего инструмента / О. В.Кретинин, А. П. Клепин, А. Р. Кварталов, А. В.Денисенко // Теория трения, смазки и обрабатываемость металлов: Труды ГПИ (Горький), 1977. - Вып. №4. - С.112 - 121.

59. Кретинин О.В. Исследование спектра термоЭДС и сил при резании // Труды ГПИ (Горький), 1970. Т.26, вып.4. - С.17-18

60. Кретинин О. В., Кудрявцев С. А. О возможном подходе к оценке контактных явлений при граничном трении. - Автоматизированные технологические и мехатронные системы в машиностроении /Сб. науч. трудов, Уфа: УГАТУ, 1997. - С.152-159.

61. Кудинов В. А. Динамика станков . – М.: Машиностроение. 1967, – 377с.

62. Кучма Л. К. Экспериментальные исследования вибраций при резании на токарных станках // Новые исследования в области обработки резанием. – М.: Машгиз., 1948.С.100-128.

63. Лоладзе Т. Н. Износ режущего инструмента. – М.:Машгиз, 1958. – 356 с.

64. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.:Машиностроение, 1982. -320с.

65. Лукьянов А.Д. Разработка систем виброакустической диагностики эволюции процесса точения на основе построения авторегрессионных моделей: автореф. дис. ... канд. техн. наук. (05.13.07 и 05.03.01). Ростов-на-Дону, 1998. – 19с.

66. Лютов А. Г. Синтез адаптивных систем оптимального управления мехатронными станочными модулями. Диссертация ... доктора техн. наук. – Уфа, 2005.

67. Макаров А. Д. Вопросы разработки режимов резания с учетом размерной стойкости инструмента, точности, производительности и себестоимости / Сб. науч. тр. МВССО РСФСР. – Л., 1961. - С.50-56

68. Макаров А. Д. Дальнейшее развитие оптимального резания металлов. /Проспект. – Уфа,1982. - 55 с.

69. Макаров А. Д. Износ и стойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1966.–264с.

70. Макаров А. Д., Волгарев Л. Н., Назаренко Е. А. Устройство адаптивного управления процессом резания и использование его для разработки оптимальных режимов резания /Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов. Межвуз.тем.сб.-Уфа:УАИ, 1983. С.14-19.

71. Макаров А. Д., Мухин В. С., Шустер Л. Ш. Износ инструмента, качество и долговечность деталей из авиационных материалов: учеб. пособие.– Уфа: УГАТУ, 1974. 372 с.

72. Макаров А. Д., Мухин В. С. Исследование наклепа при обработке сплава ЭИ437БУ Вопросы оптимального резания металлов. – Уфа, 1972. Вып.29.

73. Манжурнет В.К. Косвенный контроль размеров детали при точении по силе резания // Технология и автоматизация машиностроения: Респ. межвед. науч.-техн. сб. (Харьков). – 1972. – Вып.9 – С.81-84.

74. Малинецкий Г. Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент (введение в нелинейную динамику). М.: Эдиторил УРСС, 2000. 256 с.

75. Мигранов М. Ш. Изнашивание инструмента в условиях нестационарности процесса точения при изготовлении деталей ГТД. Дис. канд. техн. наук - Уфа, 1994. – 241 с.

76. Надеинская Е. П. Исследование износа режущего инструмента с помощью радиоактивных изотопов. – М.:Машгиз, 1956.

77. Никитин Ю. А. Диагностика мехатронных систем // Интеллектуальные мехатронные системы/ Сб. науч. трудов. Уфа, 2003. С.49-53.

78. Носенков Д. А. , Череватенко В.А., Череватенко Ю. В. //Метод повышения точности видеоизмерительной системы диагностики состояния режущего инструмента: Межвуз. сб. науч. ст. – Ростов н / Д, 1998.

79. Носенков Д. А., Лукьянов Е. А, Зайцев А. Ю. Модель формирования сигнала изображения при видеоизмерениях формы объекта. - Информационное обеспечение и управление в мехатронных производственных системах/ Межвуз. сб. науч. ст. - Ростов н / Д, 1998.

80. Основы автоматизации и управление технологическими процессами в машиностроении: учеб. пособие для студентов технических вузов/ В. Ц.Зориктуев, Н. С.Буткин, А. Г.Схиртладзе и др./Под общ. ред. В. Ц.Зориктуева, Н. С. Буткина. – Уфа: УГАТУ, 2000. – 406с.

81. Подгорков В. В. Теория резания: учеб. пособие. Иваново: ИвГУ. 1986. 80с.

82. Подураев В. Н., Барзов А. А., Горелов В. А. Технологическая диагностика резания методом акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 1988. – 56 с.

83. Подураев В. Н., Барзов А. А., Кибальченко А. В. Активный контроль износа инструмента методом акустической эмиссии // Вестник машиностроения, 1985. - №4. – С.14 – 19.

84. Постников С. Н. Электрические явления при трении и резании. Горький, Волго-Вятское кн. изд-во, 1975. – 280 с.

85. Постнов В. В. Интенсификация нестационарного резания труднообрабатываемых материалов на основе оптимизации термодинамических условий изнашивания режущего инструмента. Диссертация ... доктора техн. наук. Уфа, 2005.

86. Представление и использование знаний. Пер. с япон. / Под ред. Х. Уэно, М.: Исидзука. М.: Мир, 1989.

87. Режимы резания труднообрабатываемых материалов /Под ред. Я. Л. Гуревича. Справочник. – М.: Машиностроение, 1986.– 240 с.

88. Рюков Д. И. Исследование влияния состава твердых сплавов на основные параметры оптимального резания при точении жаропрочных сплавов и разработка ускоренных методов из определения. Дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 1979. –197 с.

89. Самарский А. А. Введение в численные методы. – М.: Наука, 1982.

90. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов – СПб.: Питер, 2003. – 604 с.

91. Сидоров А. С. Подходы к решению задачи прогноза в системе оперативной диагностики состояния режущего инструмента// Мехатроника, робототехника, автоматизация. - Сборник научных трудов: Москва – 2006 – вып.1 С.158 – 164.

92. Силин С. С. Метод подобия при резании материалов. – М.: Машиностроение, 1979. – 152 с.

93. Иконин С. Ю., Сарана Д. В. Система автоматического распознавания речи SPIRIT ASR Engine/ Статья опубликована в журнале "Цифровая обработка сигналов" #3/2003.

94. Система комплексного контроля инструмента для токарной обработки. /Технология, оборудование, организация и экономика машиностроительного производства. Серия 2. Режущие инструменты, Вып. 9, М.,1987. – С.1-7.

95. Смит Л. А. <http://www.maths.ox.ac.uk/~lenny/> Oxford Centre for Industrial and Applied Mathematics. Работы Л.А. Смита по нелинейному анализу временных рядов.

96. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.

97. Спектроскопическое изучение разрушающих флуктуаций плотность. Веттегрень В.И. Физика прочности и пластичности. – Л.: Наука, 1986. – С.17-27.

98. Ташлинцкий Н. И. Первичный источник автоколебаний при резании металлов //Вестник машиностроения, 1960. №2. С. 45-50.

99. Телегин А.А. Расчет максимальной температуры токарного резца по его инфракрасному излучению// Самостроение и техника воздушного флота: Республ. межвед. науч. техн. сб. (Харьков), 1967. – Вып.12. – С.27-31.

100. Тепловые флуктуации как генератор зародышевых трещин В. А Петров// Физика прочности и пластичности. – Л.: Наука, 1986. - С.17-27.

101. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1974.

102. Трент Е. М. Резание металлов/Пер. с англ. – М.:Машиностроение, 1980. – 263 с.

103. Туманов В. И. Свойства сплавов систем карбид – вольфрама-кобальт. – М.: Металлургия, 1971. – 95 с.

104. Химушин Ф. Ф. Жаропрочные стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1969. – 752с.

105. Чуи К. Введение в вейвлеты. — М.: Мир, 2001.

106. Шитов А. Б., Разработка численных методов и программ, связанных с применением вейвлет-анализа для моделирования и обработки экспериментальных данных: Дисс. ... уч. степени канд. физ.-мат. наук . – Иваново, 2001.

107. Электрические измерения и автоматический контроль в станкостроении: учебное пособие / Ленинградский политехн. ин-т им. М.И.Калинина.—Л.: ЛПИ, 1989

108. Эльясберг М.Н., Савинов И.А. Экспериментальное определение параметров обрабатываемого материала, влияющих на устойчивость против автоколебаний, и расчет станков //Станки и инструмент, 1979. №12. С. 23-27.

109. Янбухтин Р. М. Интенсификация токарной обработки труднообрабатываемых материалов с учетом вибрационных явлений, Автоматизированные технологические и мехатронные системы в машиностроении // Сб. науч. трудов. – Уфа: УГАТУ, 1997.

110. Янбухтин Р. М., Канзафаров Р. С., Постнов В. В. О некоторых физических причинах изменения интенсивности вибрационных явлений при резании жаропрочных материалов // Оптимизация процессов резания жаро- и особопроочных материалов: Межвуз. науч. сб. –Уфа: УАИ, 1988. С.85-90.

111. Ящирицын П. И, Еременко М. Л., Фельдштейн Е. Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: учеб. для вузов Мн. высш. шк., 1990. 512С.

112. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. – М.: Мир, 1978. – 316 с.

113. Рабинер Л. Р., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. 495 с.

114. Bayramoglu, M., and Dungel, U., 1998, “A Systematic Investigation on the Use of Forces Ratios in Tool Condition Monitoring for Turning Operations,” Trans. Inst. Meas. Control ~London!, 20, pp. 92–97.

115. Blum, T., and Inasaki, I., 1990, “A Study of Acoustic Emission from Orthogonal Cutting Process,” ASME J. Eng. Ind., 112, pp. 203–211.

116. Carranza R., Andina D. Medical Wavelet-Neural Diagnostics in Chagastic Cardiopaties. — Politechnical University of Madrid, 2000.

117. Casdagli M. Nonlinear prediction of chaotic time series // *Physica D*. 1989. V.35. P. 335-356.
118. Daubechies I. Ten Lectures on Wavelets. — MIAN, Philadelphia, 1992.
119. Daubechies I. Recent Results in Wavelet Applications. — Proceedings of SPIE Aerosense Symposium, 1998, pp. 23–31.
120. Dimla D.E. Sr. a, P.M. Lister b. On-line metal cutting tool condition monitoring. I: force and vibration analyses, *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 40 (2000)
121. Ghasempoor A. , Moore T. N. and Jeswiet J. 1998 Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – B, Vol. 212, 105–112. On-line wear estimation using neural networks.
122. Ghasempoor A., Moore T. N. and Jeswiet J. 1998 Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – B, Vol. 212, 105–112. On-line wear estimation using neural networks.
123. Gould, L., 1998, “Sensing Tool and Drive Element Condition in Machine Tools,” *Sensors*, pp. 5–13.
124. Huang X. D., Ariki Y., Jack M. A. Hidden Markov Models for Speech Recognition. Edinburgh University Press, 1990, 275 p.
125. Judd K., Mees A.I. On selecting models for nonlinear time series // *Physica D*.1995. V. 82. P. 426-444.
126. Judd K., Small M. Towards long-term prediction // *Physica D*. 2000. V.136.P.31-44.
127. Kantz H., Schreiber T. Nonlinear time series analysis. Cambridge University Press, Cambridge, 1997.
128. Kugiumtzis D., Lingjaerde O.C., Christophersen N. Regularized local linear prediction of chaotic time series // *Physica D*. 1998. V. 112. P. 344-360.
129. Kuljanic E., Sortino M. TWEM, a method based on cutting forces—monitoring tool wear in face milling. Department of Electrical, Management and Mechanical Engineering—DIEGM, University of Udine, Udine, Italy, June 2004

130. Lee, Kai-Fu, 1989, Automatic Speech Recognition, Kluwer Academic Publishers.
131. Leem C. S. 1997 International Journal of Production Research 35, 1051–1066. A practical monitoring strategy for machining process control.
132. Liang, S. Y., Dornfeld, D. A., 1989, “Detection of Cutting Tool Wear Using Time Series Modeling of Acoustic Emission Signals,” ASME J. Eng. Ind., 111, pp.199–205.
133. Lister, P. M., 1993, “On Line Measure of Tool Wear,” Ph.D. thesis, Manufacturing and Machine Tools Division, Department of Mechanical Engineering, UMIST, Manchester, United Kingdom.
134. Litao Wang, Mostafa G. Mehrabi, and Elijah Kannatey-Asibu, Jr Tool wear monitoring in reconfigurable machining systems through Wavelet analysis //Engineering Research Center for Reconfigurable Machining Systems University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109-2125
135. Manning C. D., Schutze H. Foundations of Statistical Natural Language Processing. MIT Press, 1999, 680 p.
136. Maydl W. and Sick B. 2000 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN 2000), Vol. 6, Como, 73–78. Recurrent and non-recurrent dynamic network paradigms: A case study.
137. Moriwaki, T., and Tobito, M., 1990, “A New Approach to Automatic Detection of Life of Coated Tool Based on Acoustic Emission Measurement,” ASME J. Eng. Ind., 112, pp. 212–218.
138. Nobushige Sawai Automated measurement of tool wear using image processing system. International journal of the Japan Society for precision engineering.- 1996г. -Т.30 №2, С. 112-117.
139. Oraby, S. E., and Hayhurst, D. R., 1991, “Development of Models for Tool Wear Force Relationship in Metal Cutting,” Int. J. Mach. Tools Manuf., 33, pp. 125–138.

140. Pittner S., Kamarthi S. V. and Gao Q. 1998 Journal of Intelligent Manufacturing 9, 315–322. Wavelet networks for sensor signal classification in flank wear assessment.

141. Quan Y., Zhou M. and Luo Z. 1998 Engineering Applications of Artificial Intelligence 11, 717-722. On-line robust identification of tool-wear via multi-sensor neural network fusion.

142. Rabiner, L. R., 1989, “A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition,” Proc. IEEE, Vol. 77, No. 2, pp. 257-286.

143. Ramakrishna Rao P. K., P. Prasad, P. Srinivasa Pai and V. Shantha Acoustic emission technique as a means for monitoring single point cutting tool wear, 2000.

144. Renishaw Лазерный контроль размеров инструментов в процессе обработки Maschinenmarkt. 2003. Nr. 46 (10 ноября), с. 38, 40, 41, ил. 3

145. Review on-line and indirect tool wear monitoring in turning with artificial neural networks: a review of more than a decade of research. Bernhard Sick / University of Passau, Chair of Computer Architectures (Prof. Dr.-Ing. W.Grass) , Germany, 2001

146. Richard Y. Chiou a, Steven Y. Liang b Analysis of acoustic emission in chatter vibration with tool wear effect in turning //International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 (2000)

147. Rodolfo E. Haber, Jose E. Jiménez, C. Ronei Peres, José R. Alique An investigation of tool-wear monitoring in a high-speed machining process www.since@direct.com, 2004.

148. Scheffer C. a, H. Kratz b, P.S. Heyns a, F. Klocke b. Development of a tool wear monitoring system for hard turning // International Journal of Machine Tools & Manufacture 43 (2003)

149. Scheffer C. and Heyns P. S. Wear monitoring in turning operations using vibration and strain measurements Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, University of Pretoria, Pretoria, 0002, South Africa

150. Sick B. , Sicheneder A. and Lindinger H.-J. 1998 3rd International Workshop Neural Networks in Applications (NN '98), Magdeburg, 139–146. D. Nauck, G. Krell, R. Kruse and B. Michaelis (eds). A comparative evaluation of different neural network paradigms for tool wear classification in turning.

151. Silva R. G., Baker K. J., Wilcox S. J. and Reuben R. L. 2000 Mechanical Systems and Signal Processing 14, 287–298. The adaptability of a tool wear monitoring system under changing cutting conditions.

152. Silva R. G., Reuben R. L., Baker K. J. and Wilcox S. J. 1998 Mechanical Systems and Signal Processing 12, 319–332. Tool wear monitoring of turning operations byneural network and expert system classification of a feature set generated from multiple sensors.

153. Silva R. G., Baker K. J., Wilcox S. J. and Reuben R. L. The adaptability of a tool wear monitoring system under changing cutting conditions //Mechanical Systems and Signal Processing (2000) (School of Technology (DoDAT), University of Glamorgan, Pontypridd, Wales CF37 1DL, U.K.,Department of Mechanical and Chemical Engineering, Heriot-Watt University, Riccarton, Edinburgh, EH14 4AS, U.K.)

154. Steven Y.Liang, Rogelio L. Hecker, Robert G. Machining Process Monitoring and Control: The State-of-the-Art. Landers Journal of Manufacturing Science and Engineering, MAY 2004, Vol.126/297

155. Shao H., Wang H.L., Zhao X.M. A cutting power model for tool wear monitoring in milling. International Journal of Machine Tools & Manufacture 44 (2004), February 2004

156. Tool wear and failure monitoring techniques for turning-a review.- International journal of machine tools and manufacturing.- 1990 . -T.30. №4, C. 579-598.

157. Wan E.A. Time series prediction by using a connectionist network with internal delay lines // [326]. P. 195-217.

158. Yao, Y., Fang, X. D., and Arndt, G., 1990, “Comprehensive Tool Wear Estimation in Finish-Machining Via Multivariate Time-Series Analysis of 3-D Cutting Forces,” CIRP Ann., 39, pp. 57–60.

159. @ Microsoft Corporation Администрирование Microsoft SQL Server 2000. Учебный курс MCSA/ MCSE, MCDBA/Пер. с англ. — 2-е изд., испр. — М.: Издательско-торговый дом «Русская Редакция», 2002. — 640 с.